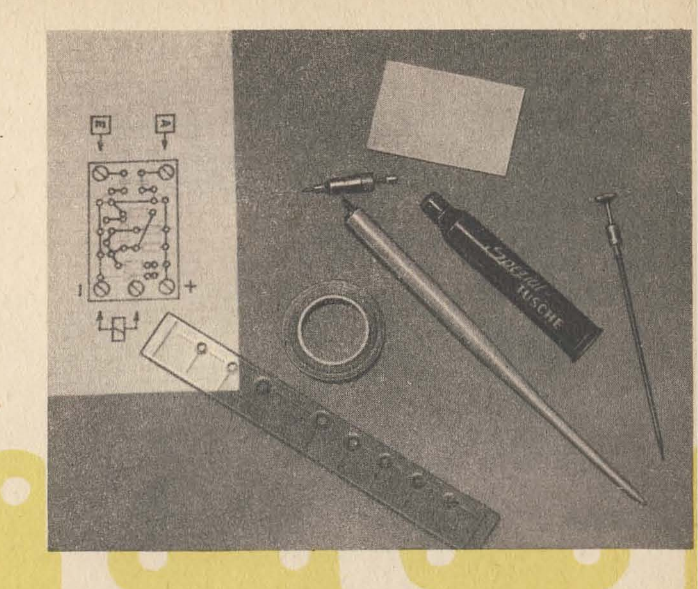
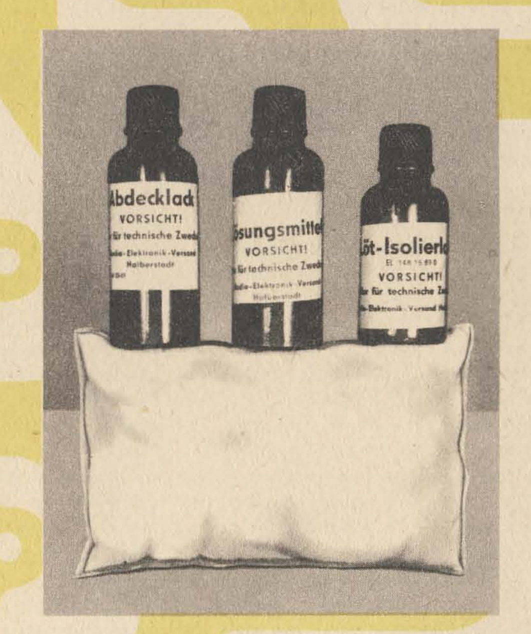
ORIGINAL-BAUPLÄNE

DMV

Bauplan Nr. 20
Preis 1,–




Reinhard Oettel
Klaus Schlenzig

# Gedruckte Schaltungen – ganz einfach

## Originalbauplan Nr. 20



## 1. Einleitung

Mehr als 12 Jahre sind vergangen, seit in unserer Amateurliteratur zum erstenmal über die Anwendung von Leiterplatten berichtet wurde [1]. Vor 10 Jahren erschien dazu in der Reihe „Der praktische Funkamateur" die erste Broschüre [2].
Inzwischen füllen Veröffentlichungen über dieses Thema ganze Regale. Damals mußte man sich praktisch fast alles, was dazu nötig war, umständlich beschaffen oder selbst anfertigen. Heute dagegen bietet der Amateurbedarfshandel kupferkaschiertes Hartpapier, Zeichen- und Ätzsätze, Lötlack usw. auf der einen Seite und ein fast vollständiges Sortiment leiterplattengerechter Bauelemente auf der anderen Seite an. In diesen 12 Jahren gelangte aber auch eine neue Generation zur praktischen Elektronik. Es ist an der Zeit, für sie eine dem gegenwärtigen Stand angepaßte Anleitung zum rationellen Anfertigen von Leiterplatten zu bieten. Vor allem den ständigen Lesern unserer Bauplanreihe, die fast in jedem neu erscheinenden Bauplan zum Einsatz der „gedruckten Schaltung" angeregt werden, kommt ein Bauplanthema dieser Art sicher sehr entgegen. Im folgenden kehrt sich also die Thematik einmal um: Normalerweise steht das Gerät im Mittelpunkt, das durch die Bauanleitung beschrieben wird, und die notwendigen technologischen Verfahren dafür sind im Abschnitt „Praktischer Aufbau" enthalten. Im vorliegenden Bauplan wird von den Verfahren ausgegangen, mit denen sich heute die meisten elektronischen Schaltungen des Amateurs nach moderner Konzeption aufbauen lassen, und sie werden dann an Hand praktischer Beispiele beschrieben. Zunächst werden die Voraussetzungen für den Entwurf von Leitungsmustern genannt und dann alle Schritte bis zur bestückten Leiterplatte, also zur elektrisch funktionsfähigen „gedruckten Schaltung" erläutert. In diesem Sinne erfolgt die Vorstellung einiger vielseitig verwendbarer Einheiten. Auf die Beschreibung mit ihnen aufgebauter vollständiger Geräte mußten die Autoren aus Platzgründen verzichten. Das Grundanliegen der Baupläne wird aber auf jeden Fall gewahrt: den Bau von Gebrauchsgegenständen zu ermöglichen, auf dem Wege dorthin praktisches Wissen zu vermitteln und zur selbständigen theoretischen Vertiefung dieser Kenntnisse anzuregen.



## 2. Warum Leiterplatten?

Auch heute gibt es noch eine Reihe von Fällen, bei denen der Einsatz von Leiterplatten ungünstig oder unsinnig ist. Das betrifft Schaltungen, die z. B. sehr hohe Spannungen verarbeiten oder erzeugen sollen oder bei denen der Frequenzbereich zu speziellen Konstruktionen zwingt. Innerhalb eines Geräts trifft man jedoch auch auf Stellen, wo eine Leiterplatte aus Aufwandgründen nicht lohnt, weil Anzahl oder Art der Bauelemente einfachere Anordnungen nahelegen. Eine Kombination aus Schalter, MP-Kondensatoren und wenigen Widerständen z. B., die zusammen eine umschaltbare Zeitgliedeinheit für einen elektronischen Zeitschalter darstellen, verdrahtet man viel rationeller direkt zwischen Schalterkontakten und Kondensatoren mit Hilfe der Widerstände. Auch bei weniger als 3 Bauelementen wird man nur sehr selten zur Leiterplatte greifen.
Dennoch möchte man heute (in allen anderen Fällen) die Frage in der Überschrift umkehren in „Warum keine Leiterplatten?". Bekanntlich (das wird inzwischen sicher jeder Bauplanleser wissen) ist eine Leiterplatte ein zweidimensionaler Träger aus Isolierstoff, der (im einfachsten Fall) auf der einen Seite die Bauelemente der Schaltung und auf der anderen die für ihre elektrische Verbindung nötigen Leiterzüge trägt, die meist aus Kupferfolie bestehen. Bauelementeanschlüsse und Leiterzüge sind durch Lötzinn miteinander verbunden. Die rationellen Fertigungsmöglichkeiten eines solchen Gebildes, das nicht nur zu großen Teilen das herkömmliche Chassis ersetzen konnte, sondern gleichzeitig die zeitraubende Arbeit des Verdrahtens auf die des Bestückens und Lötens reduzierte, dürften zu den Hauptgründen für die industrielle Nutzung dieser Technik gezählt haben. Außerdem spielten aber noch solche wichtigen Argumente eine Rolle, wie sie sich in den Begriffen Servicefreundlichkeit, Zuverlässigkeit, Standardisierung u. ä. ausdrücken. Im Wechselspiel mit diesen Faktoren erkannten die Geräteentwickler und -konstrukteure manchen anderen Vorteil: Reproduzierbarkeit der elektrischen Daten, Ausnutzung der Leiterplatte für eine Reihe „gedruckter" Bauelemente (Spulen, Kondensatoren, Steckverbinder), steckbare Bausteine, Modultechnik usw. Unter dem Begriff „rationelle Fertigung" boten sich dem Technologen günstige Bedingungen für Bestückung (bei Großserien sinnvoll automatisierbar!), Tauchlöten, vereinfachte Befestigung (Schrauben werden immer seltener!), automatisierbare Prüfgänge usw. Auch beim Entwurf von Leiterplatten geht man immer mehr zu automatisierten Abläufen über. Am „computer"-gestützten Entwurf von Leiterplatten arbeitet man heute in der ganzen Welt; dabei besteht eine Wechselwirkung zwischen „herkömmlicher" Leiterplatte und integrierten Schaltkreisen. Die produktionsintensiven Verfahren des teilautomatischen Sieb- und des vollautomatischen Offsetdrucks für Großserien gelten dagegen schon fast als „klassische" Methoden innerhalb der Leiterplattentechnologien.
Für den Amateur wurde die „Technik der gedruckten Schaltung" u. a. aus den folgenden Gründen interessant: Reproduzierbarer Nachbau von Literaturvorlagen und damit (bei fehlerfreiem Arbeiten) hohe Funktionsgarantie, einfache Fehlersuche, einfaches Wechseln von Bauelementen, einfache Befestigungsmöglichkeiten durch Einstecken und Löten, hohe Stabilität der Schaltung bei kleinem Volumen. Die Übersichtlichkeit einer Schaltung erkauft man sich allerdings durch ein gründliches Hineindenken bei eigenen Entwürfen, denn das oberste Gebot dabei, die Kreuzungsfreiheit, läßt sich anfangs nicht immer leicht einhalten. Dafür gewinnt man nicht nur Erfahrung, die dem heutigen technologischen Stand der Industrie entspricht (zumindest von den Prinzipien her), sondern kann sich auch in die nach diesen Verfahren entstandenen Geräte leichter hineindenken – bis zur erfolgreichen Reparatur.
Wenn sich ein Amateur beispielsweise im Jahre 1961 zum Einsatz von Leiterplatten entschloß, so sahen seine prinzipiellen Möglichkeiten bezüglich der Anfertigung einer ätzfesten Deckschicht nicht anders aus als heute. Es fehlte ihm damals jedoch die Unterstützung durch den Amateurbedarfshandel. Nach Überwindung dieser Beschaffungsprobleme fiel dennoch oft die Entscheidung gegen die Leiterplatte aus. Das lag an den Bauelementen. Dem Amateur standen damals überwiegend nur „klassische" Anschlußformen zur Verfügung, die nicht in das Leiterplattenstandardloch paßten und dadurch unzweckmäßige Durchbrüche und Leitungsmuster erforderten. Man mußte mühsam frisieren, umbauen, improvisieren. Heute ist es genau umgekehrt. Nur noch wenige spezielle Bauelemente passen nicht auf die Leiterplatte, und das hat manchmal auch gute Gründe, sei es aus thermischer oder aus mechanischer Sicht. Viele neue Bauelemente dagegen sind überhaupt nur noch zusammen mit der Leiterplatte zu verwenden

und haben teilweise so hohe Anschlußdichten, daß man schon gut mit der Materie vertraut sein muß, wenn man diese Bauelemente ohne Kurzschlüsse auf der Leiterplatte einsetzen will. Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel. Es trifft nur deshalb nicht hundertprozentig zu, weil es für das abgebildete Kleinrelais noch eine Steckfassung gibt. Doch auch sie muß man ja mit der übrigen Schaltung verbinden!
Bei neuentwickelten Bauelementen und Schaltkreisen wurde der Durchmesser ihrer Anschlüsse verringert. Damit hat man diese Schwierigkeiten schon besser berücksichtigt, als das bei dem dargestellten Relais mit seinen 0,8 mm dicken Stiften der Fall war. Gemäß neueren Festlegungen werden daher gegenüber den „klassischen" Leiterplattenstandards mit ihrem 1,3-mm-Loch im 2,5-mm-Raster (Ausnahme 1-mm-Loch und halbiertes Raster) in Abhängigkeit von den Anschlußdurchmessern kleinere Durchbrüche vorgesehen, die entsprechend dichtere Leitungsmuster erlauben und manche Grenzen der „ersten Leiterplattengeneration" merklich verschieben. Im vorliegenden Bauplan sollen aber (im Interesse der Anfänger und ihrer Möglichkeiten) die bisherigen Standards beibehalten werden – das Einarbeiten fällt dann leichter.

## 3. Einige allgemeine Informationen

Das dem Amateur vorwiegend zugängliche Halbzeug besteht aus 1,5 mm dickem Hartpapier mit einer etwa 35 µm dicken Kupferauflage. Ihre Haftfestigkeit genügt den normalen Beanspruchungen, wenn nicht unvernünftig lange und mit zu hoher Löttemperatur gelötet wird. Außerdem sind beim Bestücken bestimmte Grundregeln zu beachten (keine Belastung des Lötauges von der Hartpapierfläche weg, daher Bauelementeanschlüsse bei der Montage entsprechend entlasten). Andererseits gelingt es bei Bedarf, Foliepartien nach Einritzen abzuziehen – eine für den Amateur oft recht zeitsparende Möglichkeit für die Herstellung einfacher Leitungsmuster.
Neben dem „einfachkaschierten" Hartpapier erhält man bisweilen auch doppelt-, d. h. zweiseitig kaschiertes, das sich u. a. vorteilhaft für den Gehäusebau verwenden läßt. Zweiseitige Leitungsmuster sind zwar möglich (und in der Industrie auch immer häufiger notwendig), doch sollte der Anfänger zunächst genügend Erfahrungen an einseitig kaschiertem Material sammeln, bevor er solche „Zweilagenschaltungen" entwirft. Schließlich gibt es noch spezielles Material mit glasfaserverstärktem Epoxidharzträger. Der Amateur sollte jedoch davon möglichst keinen Gebrauch machen, da es beim Bearbeiten überaus großen Sägen- und Bohrerverschleiß bringt. Seine besseren Isolationseigenschaften werden in normalen Amateurschaltungen ohnehin kaum benötigt.
Kupferkaschiertes Hartpapier läßt sich mit Laubsäge und auch mit handgetriebener Bohrmaschine gut bearbeiten; eine Ständerbohrmaschine ist allerdings wegen der kleinen Bohrerdurchmesser zweckmäßiger. Auch die Handbohrmaschine sollte man einspannen und die Leiterplatte von Hand führen.
Das kupferkaschierte Halbzeug ist Ausgangsmaterial für die Leiterplatte, die prinzipiell 2 Funktionen erfüllt: Sie trägt die Bauelemente (hält sie mechanisch in ihrer Sollage fest, dient also als eine Art modernes Chassis), und sie stellt die Verbindungen zwischen ihnen her. „Verdrahtung" und „Chassis" bilden also in Form der Leiterplatte eine Einheit. Die mit Bauelementen bestückte Leiterplatte nennt man gedruckte Schaltung (Bild 2). Die Verbindungsstellen zwischen den Bauelementeanschlüssen und dem Leitungsmuster heißen Lötaugen. Sie umschließen das Loch, durch das (von der Bestückungsseite aus) der Bauelementeanschluß geführt wird. Kurz über dem Lötauge schneidet man ihn ab und verlötet ihn mit der Folie. Aus mechanischen Gründen und wegen möglicher Toleranzen zwischen Leitungsmuster und Löchern kann das Lötauge nicht beliebig klein werden. Auch die Leitungszüge zwischen den Anschlüssen unterliegen bestimmten Forderungen: Ihre kleinste Breite wird nicht nur von den Möglichkeiten des Herstellverfahrens bestimmt, sondern auch von der Belastbarkeit. Der nur 35 µm dicke Leiter hat nämlich bereits einen merklichen Widerstand; außerdem ist sein Querschnitt ziemlich klein. Wenn auch gegenüber einem runden Leiter gleichen Querschnitts diese Folie eine bessere Wärmeabfuhr gewährleistet, muß man doch Grenzwerte beachten, die von den Daten der Schaltung her oft schnell erreicht werden. (Bild 3 gibt dazu die notwendigen Informationen.)



## 4. Herstellverfahren für Leiterplatten (kurze Übersicht)

Je nach geforderten Stückzahlen und Genauigkeitsbedingungen (Leitungszug- und Lötaugendichte, Reproduzierbarkeit – z. B. bei gedruckten Spulen – u. ä.) wählt man eins der in Tabelle 1 zusammengestellten und bewerteten Verfahren aus. Mehr zu den verschiedenen Möglichkeiten kann man in der Literatur nachlesen (siehe Abschn. 9.). Im Bauplan werden nur die „amateurgerechten" Verfahren näher behandelt, besonders die mit kleinem Aufwand (z. B. bleibt der Siebdruck unberücksichtigt). Die Voraussetzungen für den Siebdruck sind zwar bei flüchtiger Betrachtung mit denen des fotomechanischen Verfahrens vergleichbar, doch läßt sich das letztgenannte wegen der z. Z. gebotenen Mittel noch immer für den Amateur leichter anwenden. Arbeitsgemeinschaften, die für ihre Serien den höherproduktiven Siebdruck ausnutzen wollen, informieren sich in der Spezialliteratur.

## 5. Von der Schaltung zum Leitungsmuster

### 5.1. Grundregeln

Die Leiterplatte trägt ein 2dimensionales Muster leitender Kupferflächen, mit denen die Bauelemente der Schaltung verbunden werden. Es ist daher – außer mit zusätzlichen, isolierten Drähten – nicht möglich, daß sich 2 Leitungen kreuzen können. Das Leitungsmuster einer einseitig kaschierten Platte läßt also keine Kreuzungen zu. Die kreuzungsfreie Auslegung aller nötigen Verbindungen auf der meist vorgegebenen Fläche bildet die Grundforderung beim Entwurf von Leitungsmustern auf einseitig kaschiertem Material. Die zur Verfügung stehende Fläche leitet sich aus dem im Gerät vorhandenen Raum und aus dem Platzbedarf der Bauelemente ab. Ihre Kantenmaße sind nach den einschlägigen Standards im Sprung von 5 mm oder 10 mm gestaffelt, so daß jede neue Leiterplatte in die universell ausgelegten Fertigungseinrichtungen paßt. Baukastensysteme bringen weitere Formatbeschränkungen, nach denen sich der Amateur aber nur richten muß, wenn er sich weiterer Konstruktionselemente solcher Systeme bedient. (Ein bekanntes Beispiel ist die auch für Amateure sehr praktische „Zeibina"-Steckverbindung.) Im allgemeinen genügt es den Amateurbelangen, wenn man die Plattenmaße im Rastersprung von 2,5 mm staffelt und die Kanten auf Rasterlinien legt. Bald wird sich aber zeigen, daß – angepaßt an die Gerätevorhaben – wenige Plattenformate für den Eigenbedarf genügen, je nach gewählter Technik (Bauelementeaufwand) und Gehäuseform. Die Anordnung der Bauelemente erfolgt nach den für die Eigenarten der Schaltung geltenden Gesichtspunkten: Schaltungen mit hoher Gesamtverstärkung erfordern eine gute Entkopplung von Ein- und Ausgang, damit keine Selbsterregung eintritt. Die Bauelemente werden daher weitgehend nach dem Signalweg laut Stromlaufplan angeordnet. Bei der Auslegung der Masseverbindungen strebt man Sternerdung an. Ähnliches gilt für HF-Schaltungen und für solche, die „steile" Impulse verarbeiten sollen. Dort kommt der Forderung nach kurzen Leitungen besondere Bedeutung zu, denn jede Leitung wirkt als Induktivität; zwischen 2 parallellaufenden Leitungen bilden sich Kapazitäten aus, die zu Verkopplungen führen, und schließlich hat jeder Folieleiter einen nicht zu vernachlässigenden Widerstand. Über ihn können z. B. galvanische Verkopplungen eintreten, wenn die betreffende Leitung zur Masseführung zweier Stufen gehört, die dadurch unerwünscht aufeinander einwirken. Richtwerte für L, C und R von Folieleitern findet der Fortgeschrittene (für den sich solche Betrachtungen erst lohnen) z. B. in [3].
Jeder Bauelementeanschluß erfordert in der Leiterplatte einen Durchbruch mit umschließendem Lötauge. Beim Einführen von 2 Anschlüssen würden sich bei Reparaturen Schwierigkeiten ergeben. Für die „Normalbauweise" benutzt man – wie schon erwähnt – das 1,3-mm-Loch im Raster von 2,5 mm (Bild 4), das z. B. noch für Einstellpotentiometer, Lötösen und ältere Bauelemente mit mehreren Anschlüssen (z. B. Relais) erforderlich ist. Sehr vielen anderen Bauelementen dagegen genügt heute bereits das 1-mm-Loch der Kleinbautechnik, so daß der Amateur am besten mit diesem Durchmesser plant und nur die Löcher auf 1,3 mm aufbohrt, für die das erforderlich ist. (Das muß aber schon durch einen entsprechend größeren Lötaugendurchmesser vorbereitet werden!) Als Empfehlung für die Mindestgröße von Lötaugen und für

die Möglichkeit, zwischen ihnen zum Erreichen kreuzungsfreier Muster noch wenigstens einen Leiterzug hindurchzuführen, gelten unter den im Bauplan gegebenen Herstellungsbedingungen die Grenzfälle gemäß Bild 5. Die Bauelemente lassen sich auch aus anderen Gründen nicht beliebig dicht anordnen. Unter Berücksichtigung ihrer Größentoleranzen und der Mindestabstände von Biegestellen zum Körper gibt Tabelle 2 eine Übersicht über die Lochbilder gebräuchlicher Bauelemente. Diese Zusammenstellung sollte beim Entwurf von Leitungsmustern stets herangezogen werden, denn sie erspart unnötiges Probieren. Nur in Ausnahmefällen und mit größter Vorsicht kann ein Anschluß in einem kürzeren Abstand abgebogen werden.
Gerade Widerstände und Dioden beanspruchen auf diese Weise eine recht große Fläche. Daher hat sich die stehende Montage in all den Fällen durchgesetzt, bei denen ohnehin schon durch andere Bauelemente eine größere Bauhöhe gebraucht wird und für die keine extremen Stabilitätsforderungen vorliegen. Bild 6 gibt auch dazu Empfehlungen. Neben der „klassischen" Auslegung des Leitungsmusters in Form kreisrunder Lötaugen und schmaler Leiterzüge (für das „Positiv"-Zeichen des Musters und für Klebe- oder Magnetgummiverfahren zur Vorlagengewinnung in der Industrie günstig) dominiert eine Art Trennlinienmuster mit fließenden Übergängen (Bild 7). Freigelegt werden dort nur die Umrandungen der voneinander zu trennenden Flächen. Das ergibt ein Maximum an Lötfläche sowie niederohmige Leitungen und minimalen Ätzmittelverbrauch. Praktisch ist das erfahrungsgemäß infolge der Abläufe im Ätzbad meist sogar noch mit verminderter Ätzzeit verbunden. Im Interesse dieser Vorteile sollte man daher beim Zeichnen von Deckschichten den etwas größeren Zeitbedarf nicht scheuen. Bei Anwendung des fotomechanischen Verfahrens mit gezeichnetem Negativ erfordert umgekehrt diese Musterart sogar den geringsten Zeichenaufwand, da einfach nur die späteren Trennlinien auf der sonst durchsichtig bleibenden Folie schwarz abgedeckt werden.
Wenig geeignet sind solche Muster allerdings bei höheren Spannungen und unter ungünstigen Umweltbedingungen (Verschmutzung, Feuchte, dadurch leitende Brücken). Beides tritt aber in der Sphäre des Anfängers kaum auf.

## 5.2. Der Weg zum Leitungsmuster

Bleiben die Leitungsmuster für Versuchsschaltungen unberücksichtigt, die für den Anfänger nur selten in Frage kommen, so muß zunächst die Schaltung der gewünschten Baugruppe oder des Geräts klar sein, bevor man mit dem Entwurf der Leiterplatte beginnen kann. Daraus ergibt sich die Stückliste der benötigten Bauelemente. Unter mehreren angebotenen Varianten wählt man das „leiterplattenfreundlichste" Bauelement. Das bedeutet: möglichst nur Anschlüsse, die in das Standardloch passen, im Vergleich zu den übrigen Bauelementen günstiges Verhältnis von Breite zu Höhe (Füllgrad der Schaltung!), leichte Auswechselbarkeit bei Reparaturen, kleinstmögliches Volumen, möglichst isolierter Körper (im Interesse dichter Packung ohne Kurzschlußgefahr bei Berührung mit anderen Bauelementen). Danach ist die zulässige Fläche zu beachten, die vom geplanten Gerät, seinen Proportionen und seinen übrigen Bauelementen abhängt. Große Durchbrüche in der Leiterplatte sollte man vermeiden; dadurch spart man Material, und es ist keine schwierige Bearbeitung notwendig. Vorteilhafter erscheint dann Aufteilung in einzelne Einheiten, die in sich möglichst elektrisch abgeschlossen sind („Baugruppentechnik") und die man unter Umständen mehrfach einsetzen kann. In Abschnitt 8. werden dafür geeignete Einheiten als Beispiele beschrieben.
Die Fläche kann nicht kleiner werden, als es die Bauelemente zulassen. Man sollte auch nicht versuchen, durch Stapeln mehr zu erreichen. Dadurch wird die Schaltung unübersichtlich und ist schwer zu reparieren.
Liegen alle Bauelemente (oder ihnen äußerlich gleiche) vor, so versucht man, sie gemäß Abschnitt 5.1. auf der vorgegebenen Fläche unterzubringen. Der folgende Weg hat sich dabei gut bewährt. Er eignet sich zum Einarbeiten in die Materie, z. B. für die „allererste" Leiterplatte, bei der es noch nicht auf die günstige Aufteilung ankommt und an der man zunächst einmal kreuzungsfreies Denken üben will. Des weiteren kann man ihn für Platten benutzen, die nicht in ein knapp bemessenes Gehäuse passen müssen, und für Versuchsaufbauten, aber auch für Steckkarten einheitlichen Formats, die doch in vielen Fällen nicht besonders dicht bestückt werden, bei denen es aber um flache Bauweise geht.



Jeder Stromlaufplan ist entsprechend dem Signalweg so aufgeteilt, daß die Reihenfolge der Bauelemente und Stufen schon die prinzipielle Anordnung auf der Leiterplatte vorwegnimmt. Man erkennt auch sofort, welche Leitungen durchgezogen sind (z. B. Stromversorgung) und daß viele Bauelemente in vertikaler Richtung liegen. Leitungskreuzungen im Stromlaufplan lösen sich daher meist einfach dadurch auf, daß man eine der sich kreuzenden Leitungen so weit verschiebt, bis sie unter einem Bauelement hindurchführt. Diese Darstellungsart würde allerdings übliche Stromlaufpläne unübersichtlicher werden lassen. Dadurch hat sie erst bei der Umsetzung in den Leitungsmusterentwurf der Leiterplatte ihre Berechtigung. Bild 8 illustriert diesen Weg.
Dieses Ablesen der kreuzungsfreien Verdrahtung vom Stromlaufplan erfordert allerdings ein gewisses Umdenken bezüglich der realen Lage der Bauelemente, denn ihre Symbole geben ja keine Auskunft über ihre tatsächliche Größe (abgesehen von den Werteangaben, aus denen man über die betreffende TGL darauf schließen kann). Daher erinnere man sich der eben gegebenen Empfehlung, daß zunächst alle Bauelemente körperlich vorliegen sollten, bevor Leitungsmuster und Bestückungsplan entworfen werden. Es gelingt nun bei entsprechenden Zugeständnissen an die Leiterplattengröße, ohne allzuviel Denkarbeit und Probieren aus dem Stromlaufplan eine kreuzungsfrei bemusterte Leiterplatte zu entwickeln. Das kann bei kleineren Einheiten ausschließlich auf dem Papier geschehen. (Die Darstellung dieser Schritte findet der Leser weiter unten.) Bei größeren Schaltungen oder dann, wenn Mindestforderungen an die Packungsdichte bestehen, empfiehlt sich eine 3dimensionale Anordnungskontrolle, während der vielleicht einige Bauelemente aus der zunächst liegenden in eine stehende Anordnung überführt werden, weil das für das Gesamtvolumen günstiger erscheint. Aus dieser Kontrolle erkennt man z. B. auch die günstigste Lage von Bauelementen im Gerät, die außerhalb der Leiterplatte liegen (Bedienungs- und Informationsorgane) und die räumlich mit ihr zusammenpassen sollen. Für einen solchen Kontrollaufbau (noch ohne Verdrahtung) eignen sich Lochrasterplatten sehr gut, wie man sie z. B. im Format 35 mm × 80 mm als Teil des Systems „Komplexe Amateurelektronik", [4], [5], [6], erhält. Sie tragen in jedem Punkt des 2,5-mm-Rasters einen 1,3-mm-Durchbruch. Diese Platte läßt sich für Bestückungsversuche voll ausnutzen, wenn man sie auf einen Schaumstoffschwamm legt. Solche Schwämme werden als Verpackungsfüllstoff oder als Waschhilfe pflegeleichter Hemden verwendet. Die Bauelementeanschlüsse können ihre volle Länge behalten, müssen nicht umgebogen werden und finden im Schaumstoff ausgezeichneten Halt (Bild 9). Notfalls läßt sich dafür auch Schaumpolystyrol einsetzen, nur nutzt sich dieses schneller ab.
Man kann auch (nach einer bestimmten Einarbeitungszeit) sofort mit der aus dem Stromlaufplan erkannten möglichen Anordnung auf einer solchen Rasterplatte beginnen oder schließlich fast ohne sie auskommen. Bei entsprechender Übung wird dann der Entwurf auch von relativ eng gepackten Leiterplatten gelingen, wobei höchstens noch Teile der Anordnung auf einer Lochrasterplatte im Zuge des Entwurfs auf ihre Zulässigkeit hin überprüft werden.
Unabhängig von diesen „Erfahrungsstufen" gelten die Empfehlungen für die folgenden Schritte. Sie wurden auf die „mittlere Stufe" abgestimmt, d. h. auf den Fall, daß man mit der Anordnung auf der Lochrasterplatte beginnt. Als nächstes überträgt man die unter Berücksichtigung von Tabelle 2 ermittelte Anordnung auf Millimeterpapier. Dort werden alle Anschlußpunkte und die Bauelementeumrisse markiert. Auf Grund der Übernahme von der Lochrasterplatte ergibt das die Ansicht der Bestückungsseite („Bestückungsplan" – er lag bei der als erste beschriebenen Methode bereits vor!). Die gemäß Stromlaufplan durchnumerierten Bauelemente (man verzichtet am besten auf „R" und „C" usw. und wählt aus Übersichtsgründen durchlaufende Zahlen) werden auch auf diesem Blatt numeriert. In die Numerierung bezieht man auch alle anderen Teile ein, die auf der Leiterplatte Platz finden sollen, z. B. Lötösen, Winkel u. ä. Ein darübergelegtes und befestigtes Transparentpapier übernimmt diese Informationen. Man kann auch sofort auf dem Transparentpapier zeichnen, wobei das Millimeterpapier nur als Unterlage zum Auffinden der Rasterpunkte dient (mit Klebestreifen befestigen). Transparentmillimeterpapier eignet sich weniger gut, da das Gittermuster beim Durchsehen erheblich stört. Das Transparentpapier wird nun umgedreht, so daß man auf die spätere Leiterseite blickt. Mit einem Bleistift, der sich gut radieren läßt und nicht schmiert (z. B. F) versucht man nun, die einzelnen Anschlußpunkte gemäß Stromlaufplan unter Beachtung der Regel in Abschnitt 5.1. kreuzungsfrei zu verbinden. (Bei der zuerst beschriebenen Methode war diese Arbeit ebenfalls

– zumindest im 1. Entwurf – vor der Lochrasterplattenkontrolle beendet!) Bei dieser Arbeit wird sich vielleicht herausstellen, daß nicht alle Bauelemente günstig genug liegen. In solchen Fällen muß man dort neu beginnen. Auch erfahrenen Amateuren gelingt – was das Zeichnen betrifft – eine gute Leiterplatte auf dem Papier meist erst im zweiten Anlauf. Damit aber nicht zuviel Aufwand getrieben werden muß, sollte man gegebenenfalls auch einmal eine Drahtbrücke auf der Bauelementeseite zulassen, die dann wie ein Bauelement zu behandeln ist, also eigene Lötaugen und Bohrungen erhält. Vom auf diese Weise entstandenen Leitungsmuster-„Skelett" geht man dann – je nach Verfahren – auf die Anfertigung des Negativs für das fotomechanische Verfahren über, oder man benutzt es als Körnerlehre zum Anpunkten der Bohrungsmittelpunkte auf der Kupferfolie der Halbzeugplatte. Die nach dieser Schilderung möglichen und miteinander verflochtenen 3 Wege zum Leitungsmuster (und dem ihm zugeordneten Bestückungsplan) soll das Schema nach Bild 10 noch etwas deutlicher wiedergeben.

## 5.3. Versuchsschaltungen auf Mehrzweckplatten

Im Handel werden aus Industrieposten bisweilen Mehrzweckleiterplatten angeboten, auf denen sich viele Schaltungen unterschiedlicher Bestimmung aufbauen lassen. Sie eignen sich auch gut für Versuche als moderne „Lötösenleisten". In diesen Fällen ist der Bestückungsplan dem vorgegebenen Muster unterzuordnen. Grundsätzlich versucht man dabei so zu bestücken, daß an den für Änderungen in Frage kommenden Punkten immer noch Löcher und damit Lötaugen in Reserve bleiben. Durchgehende Leitungen dienen als Stromzuführung und Masseverbindung.

Die einfachste und vielleicht (zumindest in einer Richtung) auch vielseitigste Platte ist die Streifenleiterplatte, die außer im Format 35 mm × 80 mm und mit je einem 1,3-mm-Loch im 2,5-mm-Raster (System „Komplexe Amateurelektronik") auch in größeren Stücken, aber nur im doppelten Rastersprung liegenden Löchern und Leiterzügen angeboten wird. Bild 11 (entnommen Originalbauplan Nr. 13) zeigt Möglichkeiten für den günstigsten Einsatz solcher Platten unter Ausnutzung der bereits vom Stromlaufplan her gegebenen „Linienstruktur" der Verbindungen zwischen den Bauelementen (siehe [7], [8]). Am freizügigsten, aber auch am arbeitsintensivsten ist die Lötpunktplatte (Bild 12a), denn sie erfordert erhebliche Verdrahtungsarbeit auf der Leiterseite. Die Kupferinseln dienen auf ihr eigentlich nur zur Festlegung der Bauelemente; auf diesen Lötstellen enden alle der Verbindung dienenden Drahtstücke. Man kann an Stelle je einer Insel mit nur einem Durchbruch z. B. 2er- oder 3ergruppen anordnen, so daß die Verbindungsdrähte eigene Durchbrüche erhalten und auch isolierstoffseitig, zusammen mit den Bauelementen, verlegt werden können. Das ergibt aber eine verhältnismäßig schwerüberschaubare Anordnung. Relativ unübersichtlich ist auch die in Bild 12b dargestellte Gittermusterplatte, deren nicht benötigte Brücken herausgekratzt werden müssen. Zwischen Streifenleiter- und Lötpunktmuster liegen die obengenannten Mehrzweckplatten, für die Bild 13 einige mögliche Musterstrukturen wiedergibt.

Die Versuchsschaltung auf einer Mehrzweckplatte kann nach erfolgreicher Erprobung zur Ableitung des Musters einer Spezialleiterplatte dienen, auf der die Bauelemente so dicht angeordnet sind, wie es die vom gewünschten Gerät her festliegenden Dimensionen verlangen. Auch auf Mehrzweckplatten, wenn sie einer bestimmten Gruppe von Schaltungen angepaßt werden, kann man allerdings mit relativ kleinem Raum auskommen, wie in [9] gezeigt wurde, das auf grundsätzliche Überlegungen in [10] zurückgeht.

## 5.4. Einige Hinweise zu zweiseitig kaschiertem Material

Zu diesem Material, das dem fortgeschrittenen Amateur sehr zu empfehlen ist, sollen wenigstens einige Informationen gegeben werden. Neben seinem Einsatz beim Bau von schirmenden Gehäusen, bei denen sich die beidseits mögliche Lötnaht sehr vorteilhaft auf die Gehäusestabilität auswirkt, gibt es grundsätzlich 3 Möglichkeiten, Leiterplatten für zweiseitig kaschiertes Material zu entwerfen, die man teilweise miteinander kombinieren kann.

Die naheliegendste Möglichkeit besteht darin, die eine Seite für das Leitungsmuster und die andere als Schirmfläche zu benutzen, so daß relativ enge Aufbauten hochverstärkender Schaltungen oder von HF-Anwendungen gelingen. Auf der Bestückungsseite sind um die Bohrungen herum ausreichend große Kreise freizuätzen, damit kein Schluß mit Bauelementen entsteht. Die Bauelemente müssen auch in allen übrigen Teilen gegen die Folie isoliert werden. Darin liegt ein Nachteil gegenüber der selbstisolierenden Bauelementeseite bei einseitig kaschiertem Material.
Bei der zweiten Einsatzvariante benutzt man die Bauelementeseite ebenfalls für das Leitungsmuster und hat auf diese Weise eine wesentlich größere Vielfalt in Verbindungen einschließlich Kreuzungen zur Verfügung, muß sich dafür aber entsprechend länger mit dem Entwurf beschäftigen. Probleme bringen auch das einwandfreie Durchkontaktieren zusammengehöriger Leiter (z. B. über eingelötete und vielleicht noch leicht gestauchte Drahtstückchen, am besten in Löchern von weniger als 1 mm Durchmesser) und die Bauelementeübergänge durch Leiterflächen hindurch. Dort sind wieder Isolierränder um die Löcher herum notwendig.
In der dritten Variante wird sogar beidseitig bestückt. Bei der Bearbeitung muß stets auf beiden Seiten gleichzeitig geschützt werden; die Koordinierung beider Seiten bezüglich der Muster wird über die Lage der beiden Musterseiten gemeinsamen Bohrungen vorgenommen. Weitere Hinweise für das fotomechanische Verfahren (Herstellung deckungsgleicher Negative) für zweiseitig kaschiertes Material sind z. B. in [3] enthalten.

## 6. Leiterplattenherstellung – ganz einfach

Für den Anfänger kommen zum Anfertigen einer Leiterplatte eigentlich nur das mechanische Abtragen und das Ätzen der bei direktem Zeichnen des Leitungsmusters auf die Folie freibleibenden Kupferpartien in Frage. In Arbeitsgemeinschaften wird man gegebenenfalls auch das fotomechanische Verfahren, aber ohne den Umweg über ein fotografisch hergestelltes Negativ, anwenden. Auf diese 3 Möglichkeiten soll sich daher der vorliegende Bauplan beschränken, wobei für das fotomechanische Verfahren auf jeden Fall noch weitere Literatur heranzuziehen ist.
Grundsätzlich säubert man – unabhängig vom gewählten Verfahren – die Platte vor der Bearbeitung. Am besten ist es, man scheuert mit ATA-fein und spült mit einem Geschirrspülmittel. Die Folie wird dadurch frei von Rückständen; man sollte sie anschließend auf der Folieseite nicht mehr berühren (außer beim rein mechanischen Abtragen). Es kann allerdings vorkommen, daß sich auf einer derart gründlich gereinigten und mit einem sauberen Lappen getrockneten Platte nicht besonders gut zeichnen läßt – einige Decklacke laufen dabei breit. Für diesen Fall werden in der Literatur 2 Möglichkeiten angegeben, die ein Breitlaufen verhindern: Entweder läßt man die Platte nach dem Säubern und Spülen einfach an der Luft trocknen, wodurch sie wieder anläuft, d. h., sie überzieht sich mit einem dünnen, gleichmäßigen Oxidfilm, oder man taucht sie kurz in stärker verdünntes Ätzmittel und spült dann sofort gründlich ab. Dadurch entsteht eine ganz leichte Rauhigkeit, die dem Zeichenprozeß ebenfalls entgegenkommt.

### 6.1. Mechanisches Abtragen

Die nur 35 µm dicke Kupferfolie läßt sich bereits mit einer Rasierklinge oder mit einem scharfen Messer leicht auftrennen, und auch das Abschälen schmaler Streifen bereitet wenig Schwierigkeiten. Einfache Leitungsmuster, z. B. Streifenleiterplatten, und die Bemusterung von Gehäusen aus kupferkaschiertem Hartpapier (Batteriekontakte, Stromzuführungen) sind über dieses Verfahren relativ schnell zu gewinnen.
Eine schon etwas anspruchsvollere Variante ist das Fräsen mit Hilfe eines Zahnarztbohrers, das auch kompliziertere Muster erlaubt.
Für das Herstellen von Trennfugen durch Abschälen hat sich eine alte Ziehfeder für Tusche gut bewährt. Man schleift sie scharf an und klemmt zur Stabilisierung des eingestellten Abstands dicht hinter die Spitze ein Metallplättchen, das etwa 0,3 bis 0,6 mm dick sein kann. Bei nahezu senkrecht aufgesetzter Feder, deren beide Spitzen gleich lang sein müssen, schneidet man



parallel zu einem Lineal bei mäßigem Druck gleichzeitig 2 Trennlinien durch die Folie hindurch und gewinnt sehr schnell einen abschälbaren Foliestreifen (Bild 14 und Bild 15). Die kleinste Trennfugenbreite wird weniger durch die Möglichkeiten dieser Methode begrenzt als durch die Notwendigkeit, diesen schmalen Streifen dann an seinem Anfang auch wirklich durch die Messerspitze zu erfassen und abzuziehen. Über 2 im Abstand der gewünschten Leiterbreite erzeugte Trennliniendoppelschnitte gewinnt man einen Streifenleiter. Auf diese Weise lassen sich in wenigen Minuten Streifenleiterplatten herstellen, deren Leiter ohne weiteres im einfachen Rastersprung parallel zueinander verlaufen können. Das beweist schon Bild 15. Die erforderlichen Bohrungen für die gewünschte Schaltung werden anschließend angebracht. Dazu körnt man vorsichtig durch ein aufgelegtes Transparentmillimeterpapierblatt hindurch die betreffenden Rasterpunkte an. Sauberes Bohren gelingt am besten unter einer elektrischen Tischbohrmaschine, die sich noch für 1-mm- oder 1,3-mm-Bohrer eignet. Bei Handbohrmaschinen führt man die Platte gegen die waagrecht in einem Schraubstock eingespannte Maschine. Der Bohrer soll möglichst kurz eingespannt werden, damit er nicht bricht.
Für Querteilungen im Streifenleiter wird die Ziehfeder mit ihren Schneidkanten etwas schräg zur Schnittrichtung gehalten. Auf diese Weise schält man den Streifen sofort mit heraus. Zum Herausschälen längerer Trennfugen nach dem Ritzen wird jedoch besser das Messer verwendet, da die Schneide der Ziehfeder sonst einer unnötig großen Beanspruchung unterliegt. Für einen solchen Einsatzfall müßte man sie breiter anschleifen als für das ausschließliche Ritzen, das dadurch aber wieder größere Kraftanstrengungen erfordern würde.
Es empfiehlt sich übrigens, nicht unnötig schmale Partien herauszuschälen, da sich sonst beim Löten leicht unerwünschte Zinnbrücken bilden. Außerdem neigen diese schmalen Rillen zum Verschmutzen, so daß sich der Isolationswiderstand zwischen den Leitern merklich verringern kann.

### 6.2. Zeichnen einer ätzfesten Deckschicht

Eine nur vom zeichnerischen Geschick und von den verwendeten Mitteln abhängige Leitungsdichte erreicht man mit geeigneten Decklacken und einer handelsüblichen Röhrchenfeder von 0,6 bis 1 mm Öffnung (Bild 16a). Diese Schicht wird in Form des gewünschten Leitungsmusters aufgetragen; die freibleibenden Kupferpartien löst man anschließend in einem Ätzbad heraus. Für das gesamte Verfahren bietet der Amateurhandel den bewährten „Zeichen- und Ätzsatz" für etwa 5,50 M an, zu dem jetzt noch ein Löt-Isolierlack für die fertige Platte bezogen werden kann (Bild 16b). Der Satz enthält ätzfesten Zeichenlack, Lösungsmittel (z. B. zum Reinigen des Zeichenwerkzeugs) und ein Ätzmittel in Form eines weißen Salzes. Infolge der tuscheähnlichen Konsistenz des Lackes läßt er sich gut mit Zieh- und Redisfedern verarbeiten. Das Ätzmittel besteht aus Ammoniumpersulfat. Für das Ätzbad wird etwa 1 Eßlöffel (den man nicht wieder für Speisen verwenden darf!) Ammoniumpersulfat in 150 cm³ Wasser gelöst. Das Ätzbad sollte man möglichst auf etwa 40 °C halten. Die höhere Temperatur beschleunigt den Ätzvorgang, der immerhin 1 bis 2 Stunden betragen kann. Ein Bewegen der Leiterplatte im Ätzbad beschleunigt den Ätzvorgang kaum. Die anfangs wasserklare Lösung färbt sich mit zunehmendem Kupferanteil immer stärker blau. Wenn der Ätzvorgang einer Platte 3 Stunden überschreitet, sollte man eine neue Lösung ansetzen. Die alte muß zusammen mit viel Wasser in den Ausguß geschüttet werden. Außerdem ist gründlich nachzuspülen. Das Ätzmittel muß sowohl von Nahrungsmitteln als auch von Kleidungsstücken unbedingt ferngehalten werden.
„Profis" ätzen lieber mit Eisen(III)-chlorid ($FeCl_3$). Damit läßt sich wesentlich schneller ätzen, und man kann es mit einem über die Platte geführten Wattebausch, durch Bewegen und durch Luftzufuhr noch beschleunigen. Dazu stammt von I. Borkmann der Vorschlag, einen entsprechend sicher aufgebauten Ätzbehälter dem Luftstrom der Austrittsöffnung eines Staubsaugers auszusetzen. Auch die leicht umgebaute PIKO-Geschirrspülmaschine (Metallteile im Gefäß durch Plast ersetzen!) wird gern verwendet. Allerdings ist beim Umgang mit dieser Substanz, die man in kristalliner Form, aber auch als Lösung im Chemiehandel erhält, sehr große Vorsicht geboten. Besonders die „trockene" Variante löst sich unter großer Wärmeentwicklung in Wasser, so daß man wärmefeste, stabile, nichtmetallische Gefäße braucht; sie greift die Atemwege an und verursacht auf Kleidungsstücken und anderen Gegenständen gelb-

braune, fast nie wieder zu entfernende Flecken. Nur sehr erfahrene Amateure sollten daher mit $FeCl_3$ arbeiten und nur dann, wenn sie alle notwendigen Sicherheitsvorkehrungen getroffen haben.
Weitere Hinweise dazu findet der Leser z. B. in [3]. In Verbindung mit Ätzen durch $FeCl_3$ genügt als Deckschicht schon übliche Zeichentusche (Bild 16a), von H. Kühne empfohlen, die im lang einwirkenden Ammoniumpersulfat-Ätzbad allerdings leicht wegschwimmt.
Neben dem im Zeichen- und Ätzsatz enthaltenen Decklack kommen noch Nitrolack, Nagellack oder (sehr brauchbar!) einer der mit etwas in Spiritus gelöster Kopierstiftmine angefärbten, unsensiblisierten Kopierlacke in Frage, wie sie für das fotomechanische Verfahren gebraucht werden (Potsdamer Kopierlack, Klöco-Lack, Röco-Lack; erhältlich bei der DHZ Papier und grafischer Bedarf).
Eine Zwischenstufe zwischen Abschälen und Zeichnen einer Deckschicht bildet das folgende Verfahren. Mit Autoreparaturlack aus der Spraydose wird die Platte gleichmäßig überzogen. Wenn der Lack so weit getrocknet ist, daß das aufgelegte Leitungsmusterbild nicht mehr anklebt, werden von dieser Zeichnung die Trennlinien durchgepaust. Anschließend schält man (z. B. wieder mit Ziehfeder) den Lack von diesen Trennlinien. Ist der Lack unter der obersten Schicht noch zu feucht, dann schmiert er, bei zu trockenem Lack reißen die Konturen leicht ein. Man muß also genau den richtigen Zeitpunkt treffen. Das auf diese Weise entstandene Muster wird geätzt.
Wann soll man nun beim direkten Verfahren bohren? Man kann die Leiterplatte entweder noch vor dem Aufbringen des Musters (die Lötaugen werden dann um die Bohrungen herum gezeichnet, sitzen also immer konzentrisch) oder erst nach dem Ätzen bohren. Auf jeden Fall empfiehlt es sich jedoch, die Körnerpunkte noch vor dem Zeichnen durch das gezeichnete Leitungsmuster hindurch auf die Folie zu übertragen, so daß sie als Markierungen für die Leiterzüge dienen können. Das geht am besten so vor sich: Die kupferkaschierte Hartpapierplatte, die bereits die endgültigen Abmessungen hat, wird mit der Folieseite von hinten auf das Papier gelegt, das die Leitungsmusterzeichnung trägt. Dabei achte man auf exakte Lage zu den Kanten. Nun sichert man die Platte mit Klebestreifen, dreht um und sticht mit einer Reißnadel u. ä. alle Lötaugenmittelpunkte durch. Auf diese Stellen wird nach Entfernen der Zeichnung der Körner aufgesetzt. Bei etwas Übung läßt sich ein Arbeitsgang einsparen: Man körnt dann gleich durch das Papier hindurch an. Den richtigen Schlag ermittelt man vorher mit einem geeigneten Hammer an einem Abfallstück. Ein zu starker Schlag führt unter Umständen zum Splittern der Platte, während bei zu geringem Ankörnen der Bohrer verläuft.
Eine „gewaltlose" Körnmethode bietet ein spezieller Stielfeilkloben, in den man einen 1-mm-Bohrer einspannt. Er läßt sich wie ein Drillbohrer drehen, so daß auf der mit Reißnadel markierten Stelle bereits nach etwa 3 Umdrehungen eine Senke entsteht, die den Bohrer sicher führt. Man findet ihn – zusammen mit anderen Hilfswerkzeugen – in Bild 16c.

## 6.3. Fotomechanisches Verfahren

Einzelheiten zu seiner Anwendung kann der Leser am besten aus der Literatur [3] ersehen. Der Bauplan enthält dazu einige ergänzende Tips für den Fortgeschrittenen. Dem Anfänger möge eine Kurzdarstellung in Stichworten genügen:

- Säubern und Entfetten der Folieseite.
- Aufbringen, gleichmäßiges Verteilen und Antrocknen einer lichtempfindlichen Schicht.
- Belichten der Schicht mit einer Lichtquelle mit uv-Anteil durch das auf die Schicht gelegte, in den Trennlinien gut deckende Negativ des Leitungsmusters hindurch; dadurch Aushärten der in der Zeichnung freiliegenden Partien, die den Leiterzügen entsprechen.
- Herauslösen der vom Negativ abgedeckten und damit unbelichteten Stellen der Deckschicht.
- Herausätzen der von der Deckschicht entblößten Partien.

Aus dieser Aufzählung erkennt man, daß dafür ein bestimmter Geräteaufwand notwendig ist (Schleuder für das Verteilen, uv-Lichtquelle für die Belichtung, „Entwicklerschale", lichtempfindlicher Lack, Lösungsmittel). Für den Fortgeschrittenen gelten dazu die folgenden Empfehlungen, die teilweise in der genannten Literatur nicht enthalten sind.



### 6.3.1. Schleuder

Für das gleichmäßige Verteilen und Antrocknen der lichtempfindlichen Schicht auf der Kupferfolie eignen sich einfache, horizontal rotierende Drehvorrichtungen. Die Platte wird in der Bewegungsrichtung exzentrisch, mit der Schicht nach oben, so eingelegt, daß die Fliehkraft (Zentrifugalkraft) gut wirken kann. (Industriell ordnet man größere Platten allerdings konzentrisch an; der Lack „zieht" sich dann nach allen Seiten über die Platte.) In der Amateurpraxis haben sich Motoren älterer Plattenspieler mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 78 $min^{-1}$ bewährt. Statt des Plattentellers wird ein flaches, kuchenblechähnliches Gebilde mit Rand angebracht. Die beschichtete Platte legt man so auf, daß eine ihrer Kanten den Rand berührt. Die Schleuderzeit beträgt je nach Lack, Temperatur und Geschwindigkeit höchstens 3 bis 5 Minuten. Bei der Verarbeitung des Lacks soll jede größere Lichteinwirkung, besonders von Tageslicht, vermieden werden. Am günstigsten sind Dunkelheit oder gedämpftes Glühlampenlicht. Auch ein auf eine Unterlage gelegtes Fahrrad (damit man an den Pedalen drehen kann) läßt sich als Schleuder verwenden. Man befestigt dazu am Hinterrad in der Nähe der Felge einen so flachen Kasten, daß er noch durch die Gabel gleiten kann.

### 6.3.2. Belichtungseinrichtung

Fotolacke reagieren vor allem auf den kurzwelligen Anteil des Lichtes, das uv-Licht. Am besten haben sich daher für die Belichtung von Leiterplattenlacken neben der für den Amateur etwas umständlichen Kohlebogenlampe Quecksilberdampf-Hochdrucklampen bewährt, vorwiegend solche für Außenbeleuchtung (z. B. Typ HQA 125 W). Die eben genannte Lampe ist mit einem Schraubsockel versehen, der in übliche Glühlampenfassungen paßt. Man kann sie aber nicht einfach am Netz betreiben, sondern muß eine zur Lampe passende Drossel vorschalten. Weder Lampe noch Drossel gibt es aber im allgemeinen im Einzelhandel, da die Anwender vorwiegend Betriebe sind. Am schwierigsten ist es, die Drossel zu beschaffen. H. Jakubaschk hat daher vorgeschlagen, ein 220-V/450-W-Bügeleisen oder einen Heizkörper gleicher Leistung vorzuschalten.
Unter der Bezeichnung „NARVA UV de Luxe" erhält man im Handel einen kombinierten uv- und Wärmestrahler, der sich bedingt für Belichtungszwecke einsetzen läßt. Die Wärmestrahlung ist dabei unerwünscht, da sie eine Wärmeaushärtung der abgedeckten Stellen hervorrufen kann. Andererseits ist die erforderliche Belichtungszeit relativ lang. Es muß also gut gekühlt werden.
Bild 17 zeigt eine bewährte Belichtungseinrichtung mit der HQA 125 W. Von einem kleinen Tisch wurde die Platte entfernt und statt ihrer eine Glasplatte aufgelegt. Unter dem Tischgestell befindet sich auf dem Fußboden die Lichtquelle. Auf die Glasplatte legt man zunächst das Fotonegativ des Leitungsmusters (oder ein gezeichnetes Negativ) auf; darüber kommt die beschichtete Platte (Schichtseite in Richtung Negativ und Lichtquelle). Dann beschwert man, soweit es die Glasplatte zuläßt (daher am besten außerhalb des Belichtungsfelds abstützen), damit das Negativ nicht unterstrahlt werden kann. Im Fall der HQA 125 W und bei üblicher Tischhöhe belichtet man etwa 30 Minuten, doch hängt das auch von Lack, Negativ und Glasplatte ab. Die richtige Zeit muß daher erprobt werden. Wärmeeinwirkung läßt sich durch Anblasen mit einer Kaltluftdusche verhindern.

### 6.3.3. Ätzeinrichtung

Solche Einrichtungen lohnen nur bei Eisen(III)-chlorid, das durch Bewegen und Luftzufuhr kürzere Ätzzeiten erlaubt. Dafür ist aber der Aufwand gegenüber Ammoniumpersulfat unverhältnismäßig groß.
Behälter und Halteeinrichtungen sollen aus Plast sein. Bild 18 zeigt einen über einer erwärmten Blechkante gebogenen Haltebügel aus PVC. Auf etwa 40 °C erwärmtes Eisen(III)-chlorid führt ebenfalls zu kurzen Ätzzeiten. Man teilt dazu die Ätzflüssigkeit auf 2 Behälter auf, von denen

jeweils einer in einem Wasserbad wieder auf diese Temperatur gebracht wird, während man im anderen ätzt.
Bewegung im Ätzbad ergibt nach T. Pricks ein genügend stabiler Lautsprecher, den man über einen Klingeltransformator mit 50 Hz anregt. Auf seine Membranseite stellt man den Ätzbehälter.
Nach einem anderen Vorschlag wird der Leiterplattenklemmhalter mit dem Schaft eines ausgedienten Einsatzes für eine elektrische Zahnbürste verbunden, die man an einem Stativ befestigt. Die Platte darf dabei nicht den Gefäßboden berühren.
Einige Bemerkungen zu dem bereits angedeuteten Lufteinblasen mit Staubsauger (Borkmann [11]): Auf die Luftablaßöffnung (auf keinen Fall die saugende Seite!) eines Staubsaugers steckt man einen Schlauch, der schon außerhalb des Behälters mit einigen Löchern versehen wird. Dadurch schwächt man den in die Ätzflüssigkeit gelangenden Luftstrom so weit, daß er die Ätzlösung der Platte zuführt, sie aber nicht ganz von ihr wegbläst. Als Ätzgefäß eignet sich ein kleiner Plasteimer; die Leiterplatte wird innen an seiner Wandung senkrecht aufgehängt. Es ist für ausreichende Luftabfuhr zu sorgen (nicht einatmen! Außerdem besteht Spritzgefahr!).
Zusammengefaßt sei nochmals betont, daß nur erfahrene Amateure mit Eisen(III)-chlorid arbeiten sollten. Für sie enthält [3] weitere Empfehlungen.

### 6.4. Nachbehandeln der Leiterplatte

Gleichgültig, nach welchem Verfahren die Leiterplatte entstanden ist, wird sie mit ATA-fein, viel Wasser und Geschirrspülmittel gesäubert. Manche Deckschichten lassen sich mit Lösungsmitteln entfernen, aber auch in diesen Fällen sollte man anschließend noch scheuern. Nach dem Spülen reibt man die Folie mit einem sauberen Tuch trocken und bringt sofort lötfähigen Schutzlack auf. Falls dazu nicht der handelsübliche Schutzlack benutzt wird, verwendet man eine möglichst gefilterte Lösung von Kolophonium in Spiritus, die man mit einem Pinsel dünn und gleichmäßig aufträgt. (Keine Löttinktur verwenden, da sie vielleicht doch nicht völlig frei von aggressiven Bestandteilen ist!) Gute Erfahrungen wurden auch mit Haarspray gemacht; diese Methode ist sehr bequem (einfach aufsprühen, trocknet in wenigen Sekunden). Der Lack behindert nicht das spätere Löten, und die Folie darunter bleibt blank. Das aber ist ja der Hauptzweck des Schutzes, denn das eigentliche Flußmittel wird erst beim Bestücken — Lötstelle für Lötstelle — zugesetzt. Bei Kolophoniumüberzug muß man übrigens im Fall einer mechanischen Bearbeitung der fertigen Platte (Konturschneiden nach dem fotomechanischen Verfahren, bei dem die Platte erst nach dem Ätzen die eigentlichen Maße erhält) darauf achten, daß sich die Sägespäne nicht in die Schicht eindrücken, weil dadurch das Löten behindert wird.

## 7. Von der Leiterplatte zur „gedruckten Schaltung"

Nach der klassischen Definition entsteht aus der Leiterplatte die (elektrisch funktionsfähige) „gedruckte Schaltung", wenn man sie mit allen Bauelementen bestückt hat. Diese Arbeitsgänge sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

### 7.1. Bestücken und Löten

Lage und Anordnung der Bauelemente wurden bereits gemäß Abschnitt 5. festgelegt. Es gilt nun, sie alle auf der Leiterplatte unterzubringen. Da der Amateur kaum tauchlöten wird und auch andere rationelle Industrieverfahren nicht benötigt, kommt er mit der sicheren Methode der Einzelbestückung aus. Dabei hält man folgende Reihenfolge ein:

- Einsetzen aller Bauelemente, die einen bestimmten mechanischen Aufwand erfordern wie das Einpressen von Lötösen mit einer stabilen Zange bei bruchsicherem Auflegen der Leiterplatte rings um das betreffende Loch (z. B. auf einem zu einem Spalt geöffneten Schraubstock).



- Einsetzen der Bauelemente, deren Lage durch starre oder halbstarre Anschlüsse zwangsläufig vorgegeben ist. Als starr rechnen z. B. Trimmpotentiometer, Relais u. ä., halbstarr sind Elektrolytkondensatoren nach TGL 200-8308, da man sie notfalls auch einmal (höher sitzend) etwas schief einbauen kann.
- Einsetzen der Bauelemente, deren Lage infolge ihrer biegsamen Anschlüsse den restlichen verfügbaren Flächen angepaßt werden kann. Das trifft vor allem auf stehend montierte Widerstände und (begrenzt) auf Kondensatoren mit Drahtanschluß zu. Die heruntergeführten Drahtanschlüsse sollte man mit Isolierschlauch überziehen. Besonders bei Widerständen empfiehlt sich auch zwischen Körper und unten liegendem Anschluß zur Leiterplatte hin ein bestimmter Abstand, realisiert durch wärmefesten Gewebeschlauch (Bild 6).

Jedes Bauelement wird sofort eingelötet. Im allgemeinen sind Bauelementeanschlüsse einwandfrei verzinnt und damit bei sachgemäßer Lagerung (am besten in geschlossenen Behältern) auch leicht zu löten. Dennoch sollte man jeden Anschluß vor dem Einsetzen des Bauelements überprüfen, und zwar an der Stelle, die später zur Lötstelle gehört. Bei den älteren Ausführungen von 1/10- und 1/20-W-Widerständen, deren Fahnenanschlüsse man oft beim Einführen in die Löcher der Leiterplatte nicht abbiegt, wird meist die Schutzlackschicht auch auf den ersten Millimetern der Anschlüsse vorhanden sein. Man muß sie also vorher vom Lack befreien und die Anschlüsse verzinnen. Allerdings ist bei kurzen Anschlußenden im allgemeinen große Vorsicht gegenüber zu langer Lötzeit und zu hoher Löttemperatur geboten. Das trifft auch auf Elektrolytkondensatoren zu, in besonderem Maße aber auf Halbleiterbauelemente. Ihre Anschlüsse sollte der Anfänger nicht kürzen, sondern sie mit Isolierschlauch schützen und die Bauelemente so anordnen, daß sie mit ihren Kappen keine anderen Bauelemente kurzschließen können.
Die Lötzeit kann um so kürzer werden, je besser der Anschluß vorbereitet wurde. Für den Amateur bedeutet das, am besten alle Bauelementeanschlüsse, auch dann, wenn sie schon verzinnt waren, kurz vor dem Einbau nochmals neu zu verzinnen. Oxid- oder Lackreste werden vorher mit Schmirgelleinen, einem Glasfaserpinsel oder mit dem Taschenmesser entfernt. Dann erhält der Anschluß einen Tropfen säurefreie Löttinktur, wie sie z. B. als „Löttinktur Nr. 23" in kleinen Flaschen im Amateurbedarfshandel angeboten wird. Diese Stelle verzinnt man dann schnell und sauber mit dem Lötkolben, dessen Spitze nach Eintauchen in Flußmittel etwas frisches Zinn aufgenommen hat. Für sauberes Löten sind folgende Bedingungen zu erfüllen: zunderfreie, ausreichend, aber nicht tropfend verzinnte Lötkolbenspitze, deren Zinn mit Flußmittel oxidhautfrei gehalten wird; Flußmittel auch auf dem zu verzinnenden Anschluß aufbringen. Die Lötkolbenspitze sollte, sooft das nötig ist, gesäubert werden, z. B. durch Abstreifen der verbrannten Flußmittelrückstände an einem Leinenlappen. Zunder beseitigt man im kalten Zustand mit Drahtbürste oder Feile, falls es sich nicht um eine vergütete, zundersichere Spitze handelt. Einige Worte zum Lötkolben selbst: Geeignet sind für Leiterplatten Lötkolben zwischen etwa 20 W und 40 W, wie sie von den Firmen VEB (k) Elektrotechnik Erkner (40-W-Lötkolben für 220 V) und Barthel Dresden (10-W- und 20-W-Niederspannungslötkolben für 6 V und 12 V) gefertigt werden. Eine gewisse Anpassung an die Forderung nach optimaler Löttemperatur (für kurze Lötzeit und damit erträgliche Beanspruchung des Klebers, der die Folie auf der Platte hält) läßt sich bei den Netzspannungslötkolben meist dadurch erreichen, indem man die Eintauchtiefe der Spitze im Heizsystem verringert, falls das die Konstruktion zuläßt. Des weiteren kann man in den Lötpausen einen Vorwiderstand oder einen passend dimensionierten Kondensator vorschalten bzw. mit Halbwellenspeisung über eine Siliziumdiode arbeiten [3]. Die genannten Maßnahmen darf jedoch nur der im Umgang mit Netzspannung ausgebildete Amateur anwenden. Ungefährlich, aber auch aufwendiger ist ein Stelltransformator. Die Niederspannungslötkolben lassen sich dagegen durch Anzapfungen an der Niederspannungsseite des Speisetransformators leichter auf die günstige Temperatur bringen.
Der Lötkolben muß folgende Bedingungen erfüllen: Der bereits sauber verzinnte Draht (etwa 0,8 mm Durchmesser) muß sich mit dem Lötauge (etwa 3 mm Durchmesser) innerhalb einer Sekunde zu einer einwandfreien Lötstelle vereinigen lassen, bei der während des Lötvorgangs das Zinn eindeutig den Draht umfließt. Teigige Konsistenz bedeutet zu „schwachen" Lötkolben, zu weit herausgezogene Spitze oder zu niedrige Betriebsspannung. Eine zu hohe Temperatur zeigt sich bereits am Lötkolben dadurch, daß sich das Zinn auf seiner Spitze in kürzester Zeit

(in einigen Sekunden) mit einer grauen Haut überzieht bzw. daß beim Löten das Flußmittel verbrennt, statt die Oberflächenspannung des Zinns zu verringern und Oxidhäute zu beseitigen.
Wie soll nun die Lötkolbenspitze aussehen? Bild 19 gibt einige Empfehlungen, doch wird man mit der Spitze um so mehr Arbeit haben, je spezieller man sie ausbildet. Bekanntlich geht bei jedem Lötvorgang auch etwas Kupfer mit in die Lötstelle ein, so daß sich die Spitze langsam abnutzt. So hat zwar die Gabelform den Vorzug, daß man in einem einzigen Ansatz den Draht rings um das Lötauge und den Anschluß mit Zinn versorgt, doch wird man sie dafür oft nacharbeiten müssen. Die Pyramidenspitze (oder auch der abgeflachte Kegel) erlaubt ein Umfahren des aus dem Lötauge herausragenden Anschlusses, und die Lötzeit wird nur unwesentlich größer. Als bester Kompromiß für einen Mehrzwecklötkolben bleibt jedenfalls die letzte im Bild dargestellte Form. Mit ihr lötet man entweder kurz hintereinander von 2 Seiten, oder man benutzt die Fläche in folgender Weise: Zunächst erhält die künftige Lötstelle samt Bauelementeanschluß wieder einen Tropfen Flußmittel. Dann zieht man aber den Anschluß unter die Folie in das Loch zurück. Die Lötkolbenspitze verzinnt dadurch zunächst flächenhaft das gesamte Lötauge. Unmittelbar danach wird der Anschluß wieder durch das Loch geschoben und dadurch ebenfalls vom noch flüssigen Zinn erfaßt. In dem Maße, in dem der Bauelementeanschluß wieder auftaucht, hebt man den Lötkolben ab.
Wie lang soll das durch die Platte hindurchragende Ende des Anschlusses sein? Für den Amateur empfiehlt es sich nicht, Anschlüsse des besseren Haltes wegen auf der Leiterseite umzubiegen. Er hat dann beim eventuell nötigen Auswechseln große Schwierigkeiten. Deshalb drückt man das Bauelement in seine stabile Lage auf der Platte, so daß es später die Folie der Lötstelle nicht von der Plattenoberfläche weg mechanisch belasten kann, denn dadurch reißt sie vielleicht ab. Das gilt besonders für schwere oder durch Bedienvorgänge mechanisch belastete Bauelemente.
Dann schneidet man den Anschluß etwa 1 mm über der Folieseite ab. Anschließend wird in der bereits beschriebenen Weise unter Zugabe eines Tropfens Flußmittel und mit gerade ausreichend frisch verzinntem Lötkolben gelötet.

### 7.2. Schützen und Prüfen

Damit die fertige Schaltung sauber wirkt, kann man sie leiterseitig mit Spiritus abwaschen. Dabei soll möglichst keine Lösung auf die Bauelementeseite gelangen, denn diese Flecken stören den Gesamteindruck. Anschließend wird die Leiterseite mit frischem Schutzlack, einer Kolophonium-Spiritus-Lösung oder Haarlack analog Abschnitt 6.4. überzogen. Falls man sich der Mühe unterzogen hat, alle Leiterbahnen zu verzinnen, so ist ein solcher Lackschutz nicht unbedingt nötig. Durch Vollverzinnung vor dem Bestücken läßt sich übrigens schnell eine saubere Lötstelle herstellen.
Die fertige Einheit muß nun noch einigen Tests unterzogen werden, bevor man sie mit der vollen Betriebsspannung „fährt".
An dieser Stelle sei noch die Empfehlung nachgetragen, schon die Leiterplatte mit einer Lampe zu durchleuchten, so daß sich noch vor dem Bestücken Brücken oder Unterbrechungen erkennen lassen. Mit Fehlstellen muß beim Ätzprozeß infolge fehlerhafter Deckschicht immer gerechnet werden!
Es ist nicht möglich, für den Funktionstest einer gedruckten Schaltung sehr spezielle Hinweise zu geben, denn das hängt stark von der Art der Schaltung ab. Auf jedem Fall wird man so vorgehen, daß der Test zeigt, ob Gefahrenstellen durch falsch eingebaute Bauelemente oder durch Zinnbrücken bestehen. Zinnbrücken erkennt man bei sorgfältiger Betrachtung der Leiterseite (ggf. wieder durchleuchten) im Vergleich mit dem Leitungsmusterentwurf. Die richtige Lage aller Bauelemente und ihre Werte werden an Hand des Bestückungsplanes kontrolliert. Anschließend kann man unter Zwischenschalten eines Begrenzungswiderstands und eines Amperemeters mit einer (richtig gepolten!) Stromquelle von höchstens Nennspannung der Schaltung feststellen, ob die Schaltung eventuell zu hohen Strom aufnimmt. Erst dann, wenn die Schaltung auf solche Tests „normal" reagiert, sollte man sie den vorgesehenen Betriebsbedingungen aussetzen. Das spart nicht nur Bauelemente, sondern auch Zeit. Es wird auch



empfohlen, die Transistoren zunächst noch nicht mit einzulöten, sondern vorher an ihren Anschlußpunkten bei an die Schaltung angelegter Betriebsspannung Kontrollmessungen vorzunehmen, aus denen man z. B. unzulässige Spannungen an den Basisanschlüssen erkennen kann.

### 7.3. Reparaturen an Leiterplatten

Der Grundsatz für Reparaturen an Leiterplatten lautet: Jede mechanische Beanspruchung, die von der Platte weg weist, ist von der Folie fernzuhalten. Diese Forderung läßt sich vor allem bei umgebogenen Anschlüssen und bei Bauelementen mit mehr als 2 (und vielleicht auch noch starr gekoppelten) Anschlüssen schwer erfüllen. Bei umgebogenen Drähten (überhaupt bei jeder Lötstelle, die geöffnet werden soll) versucht man zunächst, so schnell wie möglich viel Zinn zu entfernen. Das geschieht stets unter Mitwirkung von Flußmittel auf der Lötstelle. Auch die Lötkolbenspitze wird vorher in Flußmittel getaucht und abgestreift oder abgeschüttelt, so daß sie nur noch ganz dünn verzinnt bleibt, aber oxidfrei ist. Man hält dann die Platte mit der Leiterseite nach unten und zieht dadurch das Zinn von der Lötstelle. Das Flußmittel reduziert dabei die Oberflächenspannung. In schwierigen Fällen bedient man sich eines kurzen Stückes Kupfergeflecht von einem Schirmkabel. Es wird mit Flußmittel benetzt und auf die Lötstelle gedrückt. Vom Kolben erwärmt, saugen die Gewebeporen das Zinn sogar aus der Bohrung, in der es den Anschluß fest umschlossen hatte. Dieser kleine Trick hat sich beim Demontieren von „Tausendfüßler"-Bauelementen ausgezeichnet bewährt. Das verzinnte Gewebestück wird abgeschnitten und weggeworfen.
Eine andere Möglichkeit, von vornherein die Demontage von Bauelementen mit mehreren Anschlüssen zu erleichtern, besteht im leichten Ansenken der Bohrungen auf der Leiterseite (was man im allgemeinen nicht tut!), so daß auch zwischen dickeren Anschlüssen und der Folie noch ein „Graben" bleibt, den man beim Bestücken mit Zinn überbrückt. Beim Auslöten hilft Flußmittel dabei, daß dieser „Graben" leicht wieder freigelegt wird und das Zinn den Anschluß freigibt.
Der Einbau eines neuen Bauelements in die verzinnten Lötaugen bereitet nur dann Schwierigkeiten, wenn sich in den Bohrungen noch Zinn befindet. In diesen Fällen benutzt man einen Draht von etwa 0,8 mm Durchmesser, den man unter Erwärmen mit dem Kolben von der Bauelementeseite vorsichtig durch das Loch schiebt. Sitzt das Zinn nur flach am Lötauge, so empfiehlt sich eher ein angespitztes Streichholz, das ebenfalls von der Bauelementeseite in das Loch geschoben wird, während man das Lötauge mit dem Kolben erwärmt. Auf diese Weise läßt sich die Bohrung freilegen, ohne daß man das Hilfsmittel anschließend wieder ungewollt mit anlötet.

## 8. Praktische Beispiele

Auf Grund der aus dem bisherigen Text gewonnenen Erkenntnisse bieten sich dem Anfänger 3 Möglichkeiten, schnell zu einer Leiterplatte zu gelangen: über eine Universalleiterplatte, durch mechanisches Abtragen oder durch eine gezeichnete Deckschicht, deren Zwischenräume ausgeätzt werden.
Je nach „Erkenntnisstand" übernimmt der Amateur die Schaltung für sein Gerät aus der Literatur, oder er entwickelt sie selbst. Oft findet man in Veröffentlichungen auch bereits fertige Leitungsmuster. Sie sind nach dem vom jeweiligen Autor benutzten Herstellungsverfahren ausgelegt, z. B. für die fotomechanische Übertragung. Außerdem entsprechen sie in ihrer Anordnung den gerade vorhandenen Bauelementen und speziellen Anwendungsgesichtspunkten. Daraus folgt, daß man auch ein solches Leitungsmuster nicht unbedingt vollständig übernehmen kann. Liegt es vor, so erspart es aber auf jeden Fall einen großen Teil Denkarbeit bezüglich Anordnung und Leitungsführung. Es lohnt also, solche Muster kritisch zu prüfen und eventuell anzuwenden, auch dann, wenn sie bereits vor Jahren veröffentlicht wurden und sich heute mit teilweise anderen Bauelementen oder Schaltungsdetails realisieren lassen. Eine solche Schaltung, die in ihrer Anwendung relativ „zeitlos" ist, wird im folgenden zum Ausgangspunkt für den dritten der eben genannten Wege gewählt.

## 8.1. Weg 1 – Universalleiterplatte (siehe Abschn. 5.3.): Verstärkerstufe

Die Möglichkeiten von Universalleiterplatten wurden bereits in den vorangegangenen Abschnitten genügend erläutert, so daß an dieser Stelle der Hinweis auf [4] (Anwendung einer Streifenleiterplatte für eine Empfängerschaltung) sowie auf Bild 11 und (bezüglich des Einsatzes von Mehrzweck-, aber nicht ausgesprochen universellen Leiterplatten) auf [3] und [10] genügen soll.

## 8.2. Weg 2 – Mechanisches Abtragen (siehe Abschn. 6.1.): Lichtschranke

Mechanisch erzeugte Trennlinienmuster stellen infolge ihres notwendigen „geradlinigen" Verlaufs um so höhere Anforderungen an ihre Herstellung, je mehr Lötstellen man auf einer gegebenen Fläche unterbringen will. Sie bieten gegenüber Streifenleiterplatten allerdings größere Freizügigkeit im Leitungsverlauf. Dafür wurde ein Beispiel gewählt, das außer der Batterie nur 6 Bauelemente enthält. Es handelt sich um das Modell eines einfachen lichtempfindlichen Schalters, den man als Lichtschranke oder als lichtstrahlbetätigten Ein- oder Ausschalter einsetzen kann. Zu dieser Schaltung regte die Tatsache an, daß jetzt aus DDR-Produktion speziell für den Amateur das preiswerte Selen-Fotoelement SeH 13 × 26 im Amateurbedarfshandel erhältlich ist (siehe 10!), während andere lichtempfindliche Bauelemente künftig vorwiegend aus dem sozialistischen Ausland importiert werden und damit vorzugsweise der Industrie zur Verfügung stehen. Dieses Fotoelement wurde in zahlreichen Schaltungen getestet. Eine besonders einfache, aber recht brauchbare Variante gibt Bild 20 wieder. Entsprechend der Ausgangsspannungs-Ausgangsstrom-Charakteristik des SeH 13 × 26 dient als erste Verstärkerstufe ein Ge-Transistor, dem ein Si-Transistor in direkter Kopplung folgt. Durch sein Eingangsspannungs-Schwellverhalten wird in Verbindung mit R2 erreicht, daß der Reststrom vom T1 in T2 so lange unwirksam bleibt, wie das Produkt aus Reststrom von T1 und Wert von R2 unter der Basis-Ermitter-Schwellspannung von T2 bleibt (siehe [12]).
R1 begrenzt den Basisstrom von T2 bei einem Kurzschluß in T1. Die Schaltung wurde für 6 V erprobt; höhere Spannungen (sofern sie die für die Transistoren zulässigen nicht überschreiten) erlauben höhere Relaiswiderstände und damit geringere Ansprechströme. Außer bei Reaktion auf Außenhelligkeit („Dämmerungsschalter") sollte man das Selenelement in eine schirmende Hülle einbauen, so daß es nur vom „Sollstrahl" getroffen wird. Die einfachste Möglichkeit besteht im Einbau in eine leere Streichholzschachtel entsprechend Bild 21. In Verbindung mit einer Verstärkerschaltung gemäß Bild 20 auf einer Leiterplatte erschien – schon wegen der Kontaktierung des Fotoelements – eine Anordnung nach Bild 22 günstiger. Das Selenelement sitzt dort zwischen 2 stabilen Haltedrähten (Durchmesser z. B. 0,8 mm). Seine beiden dünnen Anschlußdrähte werden – leicht durchhängend gegen mechanische Beanspruchungen – zu ihren Lötaugen auf der Leiterplatte geführt (gn = minus, rt = plus).
Die Leiterplatte, auf der sich auch das Relais befindet, wird gemäß Bild 23 geritzt. Das Relais (GBr 311, GBR 312 oder Nachfolgetypen nach TGL 200-3796) hält man ebenfalls durch 2 Drahtbügel. Auf den Vorderteil der Platte wird entsprechend Bild 24 für „gerichteten Empfang" die Hülle einer Streichholzschachtel geschoben. Soll die Einrichtung ausschließlich solchen Zwecken dienen, so empfiehlt sich ein Gehäuse, z. B. aus kupferkaschiertem Hartpapier (Bild 25); die Selenelementbefestigung ändert man dann entsprechend Bild 26.
Die Stromversorgung erfolgt – je nach Einsatzfall – aus Batterien oder aus einer einfachen Gleichrichterschaltung (siehe z. B. [13]!). Man bedenke, daß so lange ein Strom (im Beispiel von etwa 40 mA) fließt, wie Licht auf das Selenelement fällt! Auf Grund ihrer großen Empfindlichkeit spricht diese Einrichtung übrigens bereits durch einen hellen, fremd angestrahlten Gegenstand (z. B. eine Hand) vor der Öffnung an. Daraus ergeben sich interessante Anwendungen. Bei Einsatz als Lichtschranke läßt man den Lichtstrahl (z. B. mit einem Taschenlampenreflektor oder einer Sammellinse) so auf das Selenelement fallen, daß in etwa die gesamte Fläche ausgeleuchtet wird. Je nach Leistung des gewählten Lämpchens können mit dem Lichtstrahl einige Meter überbrückt werden. Abschließend sei noch auf die Möglichkeit verwiesen, an den Ausgang der Schaltung statt des Relais die im Abschnitt 8.3. beschriebene Sirene anzuschließen, die dann bei Lichteinfall Alarm auslöst (Klemme „–" an Kollektor von T2, Klemme „+ 4 ... 6 V" an +); die lichtempfindliche Schaltung wirkt als Einschalter.



## 8.3. Weg 3 – Gezeichnete Deckschicht (siehe Abschn. 6.2.): Elektronische Sirene

Als Beispiel wurde die elektronische Sirene von W. Wiegmann aus „FUNKAMATEUR" Nr. 8/1967, S. 368, gewählt. Gegenüber den dort verwendeten Ge-Transistoren wurde sie mit Si-Basteltransistoren bestückt; außerdem erfolgen einige Schaltungsänderungen. Mögliche Varianten gibt Bild 27 wieder; man wähle die bezüglich der vorhandenen Bauelemente vorteilhaftere! Der Lautsprecher muß bei b) dem auftretenden Strom gewachsen sein (Strom mit R1 wählen). Die Funktion sei nur kurz angedeutet: Der rechte der beiden Multivibratoren schwingt (über R10 einstellbar) im Tonfrequenzbereich; der linke schaltet ihn im Rhythmus einer wesentlich tiefer liegenden Frequenz periodisch ein und aus. (Das Verhältnis von Ein- zu Aus-Zeit läßt sich an R3 wählen.) C3 bewirkt, daß der Ton dadurch nicht schlagartig ein- und aussetzt und somit der gewünschte Sireneneffekt entsteht. R6 hat die Funktion eines variablen Innenwiderstands der „Stromquelle" für die Basisspannungen des zweiten Multivibrators, bestimmt also den für ihn maximal verfügbaren Steuerstrom und außerdem die Zeitkontakte in Verbindung mit C3.
Eine solche Schaltung interessiert z. B. den Fernsteueramateur zum Ausrüsten von Fahrmodellen, sie ist auch als effektvoller Alarmgeber in Überwachungsschaltungen nützlich (siehe dazu den Hinweis unter Abschn. 8.2.!)
Bild 29 zeigt zunächst die gegenüber der Originalleiterplatte (Bild 28) möglichen Vereinfachungen des gegebenen Leitungsmusters, die den Zeichenvorgang erleichtern. In der Endstufe wurde bereits auf beide Ausgangsschaltungsvarianten geändert. R2 und R4 fehlen (wie im Original). Diese Widerstände begrenzen den bei Schleiferanschlag fließenden Basisstrom; man müßte sich bei der Variante also vor diesen Grenzstellungen hüten! Daher dient dieses Muster nur als Beispiel für die möglichen Vereinfachungen. Als Empfehlung für den Nachbau gilt Bild 30. Dieses Muster wurde gegenüber dem veröffentlichten völlig neu gestaltet. (In der Endstufe lassen sich mit wenig Aufwand statt der Übertragervariante auch die Bauelemente gemäß Bild 27 b unterbringen.)
Man kann eine Schaltung, deren Funktion des Nachbauens wert erscheint, über die „Methode der gezeichneten Deckschicht" schnell in eine funktionsfähige Einheit umsetzen, wobei das Ergebnis um so mehr den eigenen Wünschen und der Bauelementesituation entgegenkommt, je mehr man es schöpferisch durchdringt. Anschließend wird man auf Grund dieser Übungen ohne solche Vorgaben auskommen und den eigenen Entwurf ganz aus der eigenen oder fremden Schaltung heraus entwickeln können.

# 9. Literatur

Entsprechend der eingangs getroffenen Feststellung ist es nicht mehr möglich, eine auch nur annähernd vollständige Übersicht über alle zum Thema vorliegenden Veröffentlichungen zu geben. Das hat auch keinen Sinn, da die Anfertigung der Leiterplatte immer mehr als „Randerscheinung" mit behandelt wird. Viele der älteren und doch noch aktuellen Publikationen hingegen flossen teilweise in wenige „Konzentrate" ein, von denen die „Amateurtechnologie" das bekannteste sein dürfte. Daher werden im folgenden nur die „typischen" Literaturstellen zum Thema genannt. Im übrigen sei auf die Zeitschrift FUNKAMATEUR und auf die Reihe „Originalbaupläne" verwiesen, in denen laufend zum Komplex „gedruckte Schaltung" und seinen vielen interessanten technologischen und konstruktiven Details Anregungen gegeben werden. Nachstehend die Veröffentlichungen, auf die zum Teil im vorliegenden Originalbauplan verwiesen wird.


[1] Schlenzig, K.: Ein Transistoraudion in gedruckter Schaltung, radio und fernsehen, 7 (1958), H. 22, S. 661–664, VEB Verlag Technik, Berlin

[2] Schlenzig, K.: Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur, H. 26, 31 und 41 der Reihe „Der praktische Funkamateur", Verlag Sport und Technik bzw. Deutscher Militärverlag, 1962 und 1963

[3] Schlenzig, K.: Amateurtechnologie – von der Schaltung zum Gerät, Reihe „Amateurbibliothek", Deutscher Militärverlag, Berlin 1969

[4] Schlenzig, K.: System Komplexe Amateurelektronik, Originalbauplan Nr. 13, Deutscher Militärverlag, Berlin 1969
[5] Schlenzig, K.: Amateurelektronik-Experimente, Originalbauplan Nr. 16, Deutscher Militärverlag, Berlin 1970
[6] Schlenzig, K.: Amateurelektronik-Geräte, Originalbauplan Nr. 19, Deutscher Militärverlag, Berlin 1971
[7] Schlenzig, K.: Streifenleiterplatte für Versuchsschaltungen, radio–fernsehen–elektronik 18 (1969), H. 9, S. 286, VEB Verlag Technik, Berlin
[8] Schubert, K.-H.: Universalleiterplatten für Elektronikamateure, Elektronisches Jahrbuch 1970, S. 193 bis 203, Deutscher Militärverlag, Berlin
[9] Schlenzig, K.: Mehrzweckleiterplatten als Bausteine für den Amateur, Elektronisches Jahrbuch 1967, S. 91 bis 96, Deutscher Militärverlag, Berlin
[10] Schlenzig, K.: Die gedruckte Schaltung in der Hand des Amateurs, radio und fernsehen, 8 (1959), H. 18, S. 581–585, VEB Verlag Technik, Berlin
[11] Borkmann, I.: Einfache Vorrichtung zum Ätzen von Leiterplatten, radio und fernsehen, 13 (1964), H. 21, S. 670–672, VEB Verlag Technik, Berlin
[12] Oettel, R., und Schlenzig, K.: Silizium-Schaltungsmosaik, Originalbauplan Nr. 18, Deutscher Militärverlag, Berlin 1971
[13] Knapschnisky, L., und Schlenzig, K.: Stromversorgung für Transistorgeräte, Originalbauplan Nr. 12, Deutscher Militärverlag, Berlin 1969

## 10. Bezugsquellen

**Kupferkaschiertes Hartpapier und elektronische Bauelemente:** Alle Filialen für Rundfunk-Amateur-Bastlerbedarf des VEB Industrievertriebs Rundfunk und Fernsehen, zahlreiche Einzelhändler. Es werden teilweise aus Industriezuschnittabfällen preiswerte kleinere Platten angeboten, die man sich aussuchen kann. Mit einem Meßstab bewaffnet, findet man in einer solchen Kramkiste oft genau die Größe, die die künftige Schaltung haben soll; manchmal muß nicht einmal auf Länge geschnitten werden. Diesen unschätzbaren Vorteil und die Tatsache, daß es sich um garantiert erste Qualität handelt (was bei größeren Tafeln nicht immer der Fall ist!), nehmen noch viel zuwenig Amateure in Anspruch.
**Zeichen- und Ätzsatz sowie Löt-Isolierlack:** Diese Materialien sind vom Konsum-Elektronik-Versand, 36 Halberstadt, Postfach 11 (Telefon 29 23), zu beziehen. Dieses Versandhaus, dessen Katalog inzwischen bei vielen Amateuren vorhanden sein dürfte, führt auch ein umfangreiches Angebot an elektronischen Bauelementen, kupferkaschiertem Halbzeug und Universalleiterplatten.
**Universalleiterplatten:** Vergleiche den soeben gegebenen Hinweis. Das Angebot ist von den Möglichkeiten der Hersteller im Wechsel mit dem Industriebedarf abhängig. Universalleiterplatten führen ebenfalls die meisten Amateurbedarfsgeschäfte.
**Selen-Fotoelemente:** Diese Bauelemente führten bei Redaktionsschluß laut Information von dort mindestens das Konsum-Versandhaus Wermsdorf (Bauelemente- und Leiterplattenbedarfssortiment ähnlich umfangreich wie in Halberstadt) und die Filiale RFT Amateur-Bastlerbedarf des VEB Industrievertriebs Rundfunk und Fernsehen, 1054 Berlin, Kastanienallee 87 (Telefon 44 35 93). Es empfiehlt sich aber auch, beim örtlichen Handel oder z. B. beim Konsum-Elektronik-Versand in Halberstadt anzufragen.

Redaktionsschluß: 15. April 1971 · 1.–20. Tausend · Deutscher Militärverlag · Berlin 1972 · Lizenz-Nr. 5 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz · Typografie: Helmut Herrmann · Fotos: Verfasser · Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Gertraut Purfürst · Hersteller: Werner Briege · Gesamtherstellung: Sachsendruck Plauen · Bestellnummer: 745 399 8

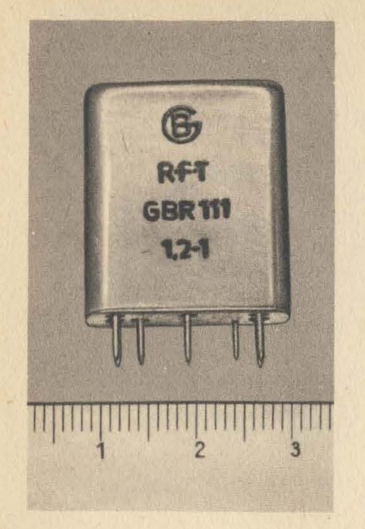


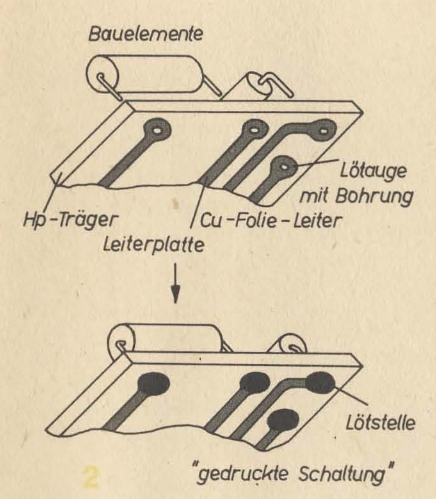
**Tabelle 1 Verfahren zur Herstellung von Leiterplatten**

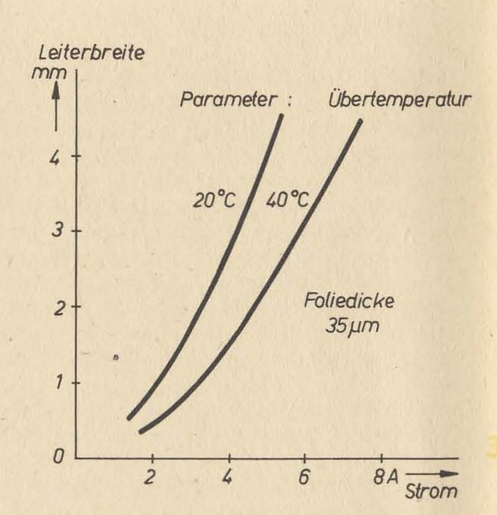
| Verfahren | mögliche Leiterdichte | Produktivität | Anwendung | technologischer Umfang |
|---|---|---|---|---|
| mechanisches Abtragen | klein | sehr klein (außer beim maschinellen Fräsen) | Einzelstücken beim Amateur und im Entwicklungslabor; mit speziellen Einrichtungen auch Serien | sehr klein (außer beim maschinellen Fräsen); kein Ätzen! |
| gezeichnete Deckschicht und nachfolgendes Ätzen | mittel | klein | Einzelstücken beim Amateur und im Entwicklungslabor | sehr klein |
| fotomechanisches Verfahren (mit Ätzen) | sehr hoch | mittel | Entwicklungslabor, Kleinserien, Amateur (Arbeitsgemeinschaften) | mittel |
| Siebdruck (mit Ätzen) | mittel | hoch | mittlere Serien, Arbeitsgemeinschaften | mittel |
| Offsetdruck (mit Ätzen) | hoch | sehr hoch | Großserien | hoch |
| additive Verfahren (chemisches Aufbringen von Leiterbahnen) | mittel bis hoch; besonders bei durchkontaktierten Löchern | hoch bis sehr hoch | Großserien; wichtiges Detail: Durchkontaktieren (Mehrlagenschaltungen) | sehr hoch |

Tabelle 2

| Liegende Montage | stehende Montage | |
|---|---|---|
| ≧1,5 ≧1,5<br>n · RE<br>(n = 1, 2, 3 . . .)<br>0 . . . 2RE<br>je nach Austritt des Drahtes<br>1RE = 2,5mm | ≳4mm<br>≧1RE<br>≧1RE | Bauelement mit axialen Drahtanschlüssen, allgemein |
| 4(3)RE 4(5)RE<br>6(5)RE 6RE<br>R1 R2 ≧2RE | Schlauch<br>1RE<br>1RE 1RE | 1/20-W-Widerstand (alt und neu)<br>1/10-W-und 1/8-W-Widerstand (1/10 nicht stellen; 1/8 wie 1/20 anordnen) |
| 4RE 2RE<br>ggf. Betätigungs-bohrung Φ3<br>4RE<br>ggf. Φ4<br>5RE | 1RE<br>2RE<br>2RE<br>4RE | Einstellpotentiometer Größe 05<br>Größe 1 |
| | 1RE<br>1RE | Elektrolytkondensator nach TGL 200-8308 (liegende Kondensatoren siehe "Bauelement allgemein") |
| ≧7,5 | | |



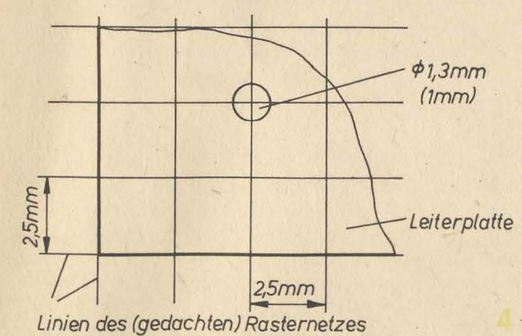
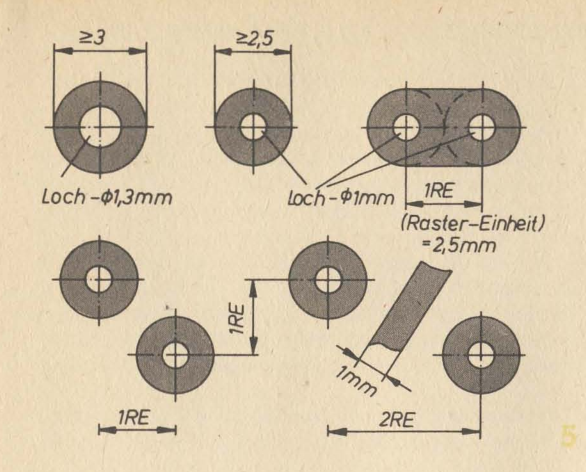



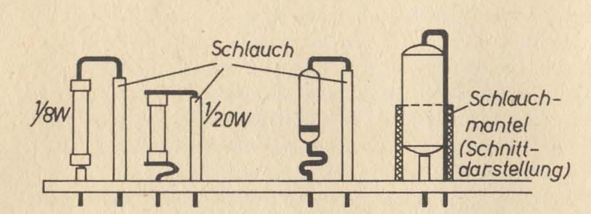

**Bild 1**
Bauelement mit Anschlüssen, die im einfachen Rastersprung voneinander entfernt sind

**Bild 2**
Aus der Leiterplatte wird durch Einsetzen und Einlöten der Bauelemente die „gedruckte Schaltung"

**Bild 3**
Belastbarkeit von Folieleitern

**Bild 4**
In die Kreuzungspunkte dieses gedachten Rasternetzes legt man auf der Leiterplatte die Bohrungen für die Bauelementeanschlüsse (Lochdurchmesser für Kleinbautechnik: 1 mm; nach neuen Standards werden auch kleinere Lochdurchmesser benutzt)



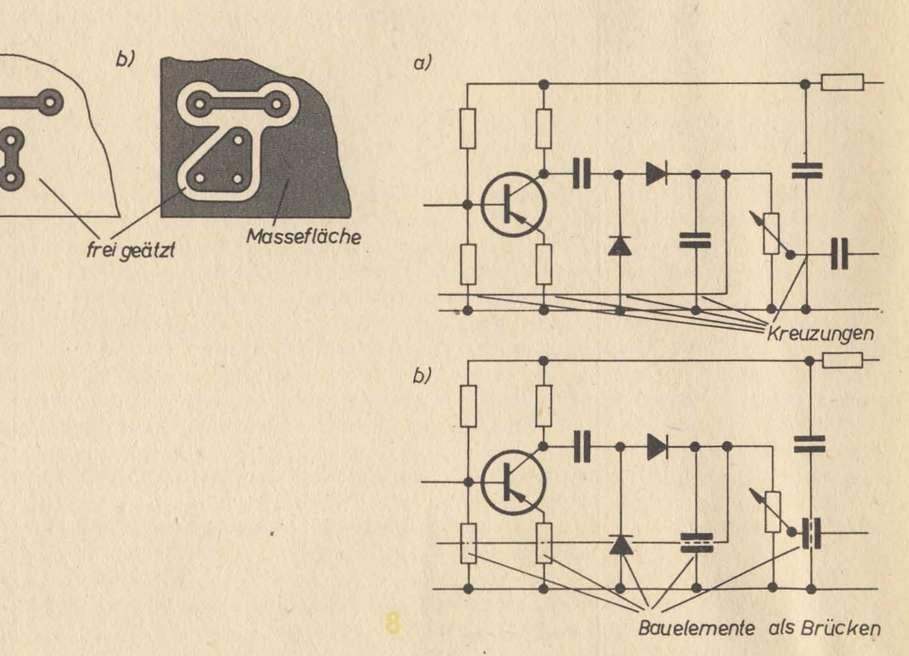
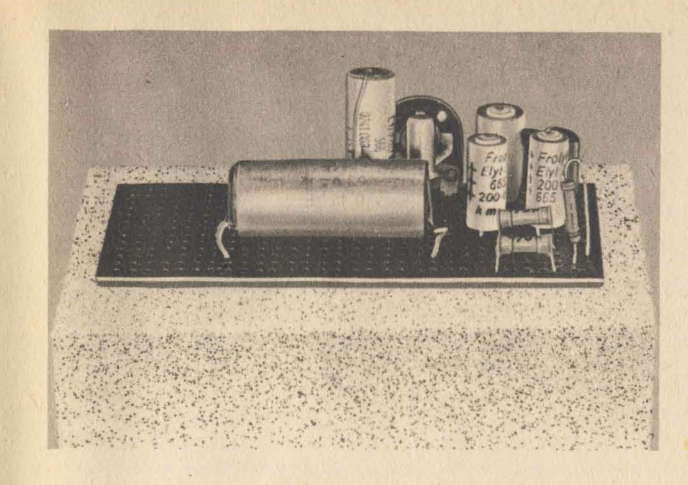




**Bild 5**
Für den Amateur zu empfehlende Mindestlötaugengrößen und Mindestabstände für Leiter, zwischen denen unterschiedliches Potential herrscht

**Bild 6**
Vertikal montierte Bauelemente gestatten große Bestückungsdichte

**Bild 7**
Typische Leitungsmusterformen;
a – besonders günstig für gezeichnete Deckschicht;
b – gestattet geringen Ätzmittelbedarf und ergibt kleinen Zeichenaufwand bei gezeichneten Negativen für das fotomechanische Verfahren

**Bild 8**
Auf diese Weise liest man aus einem Stromlaufplan (a) eine kreuzungsfreie Leitungsführung ab (b)



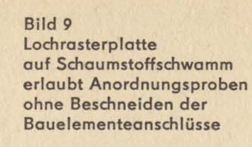
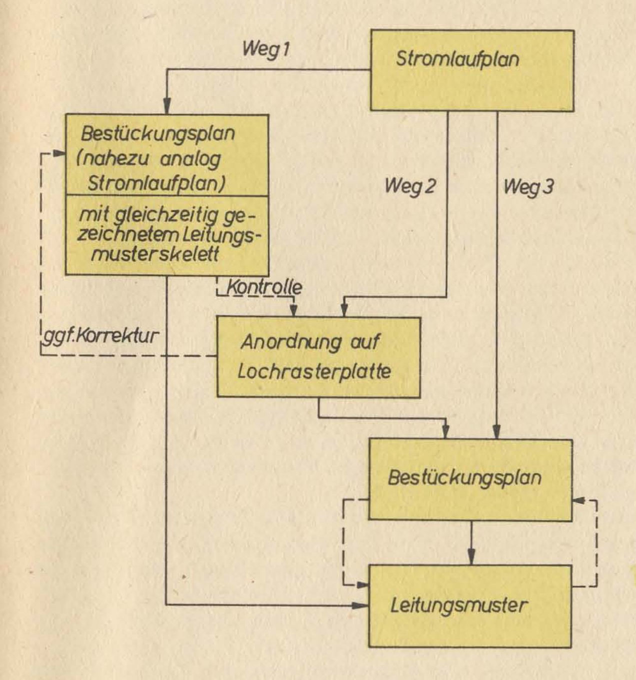
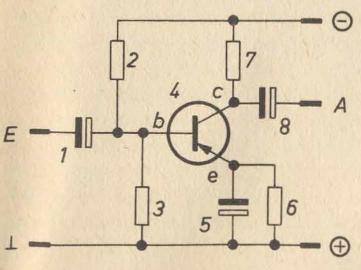


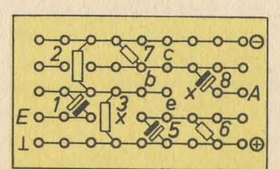
**Bild 9**
Lochrasterplatte auf Schaumstoffschwamm erlaubt Anordnungsproben ohne Beschneiden der Bauelementeanschlüsse

**Bild 10**
Die 3 in diesem Bauplan beschriebenen Wege zum Leitungsmuster:
1 – Ablesen aus der Schaltung ähnlich Bild 8 ergibt Auslegung mit relativ großem Flächenbedarf;
2 – Anordnung auf Lochrasterplatte gestattet Erprobung größerer Bauelementedichte;
3 – nach entsprechender Übung gelingt es, auch Muster für enggepackte Schaltungen sofort auf dem Papier zu entwerfen

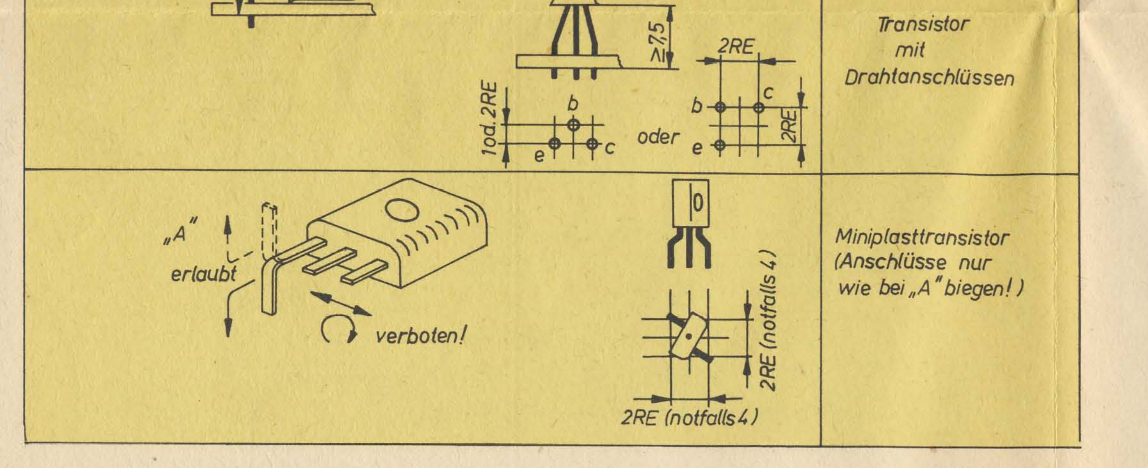
**Bild 11**
Umsetzen einer Verstärkerstufe auf eine Streifenleiterplatte mit Leitern und Löchern im einfachen Rastersprung

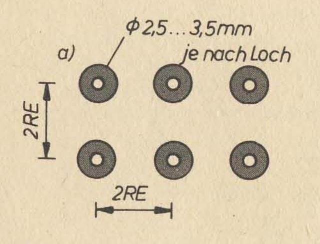


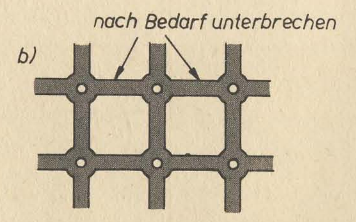




R: TGL 8728 } stehend
C: TGL 200-8308 } montiert
o-o-o: Leiterzug mit Bohrungen
x: Leiterzug unterbrechen

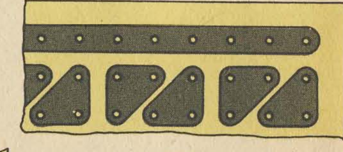


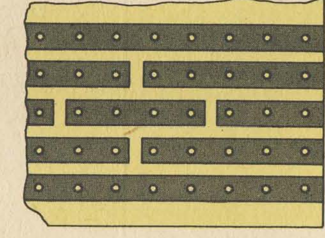



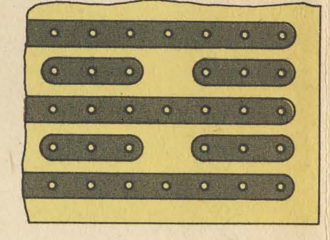

12

Tabelle 2
Empfohlene Lötaugenabstände
für die gebräuchlichsten
Bauelemente



13





14

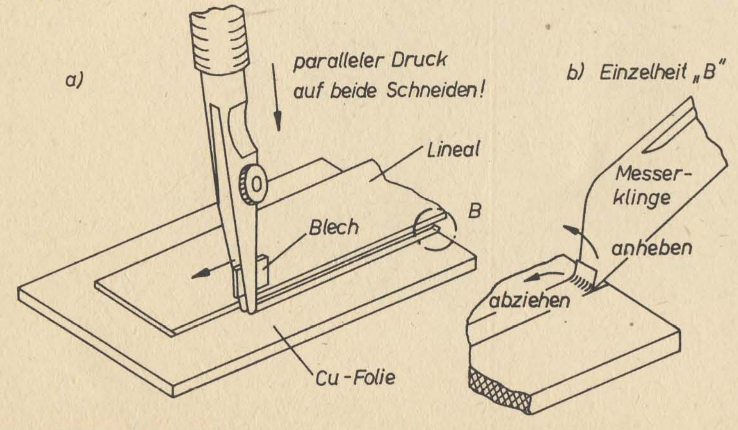



Bild 12
Lötpunktplatte (a) und ihr Gegenstück (b). Bei (a) muß man die nötigen Verbindungen mit Schaltdraht herstellen, bei (b) die überflüssigen Brücken herausschälen

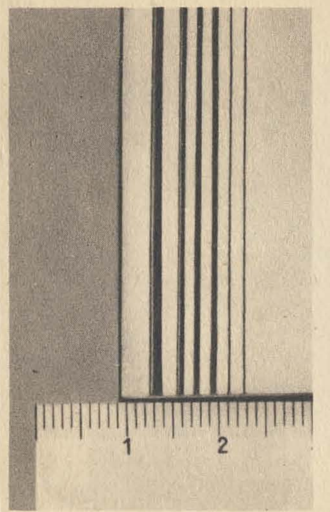
Bild 13
Einige Muster für Mehrzweckleiterplatten

Bild 14
Ritzen einer Leiterplatte mit scharfgeschliffener Ziehfeder

## Gebrauchsanweisung für die Herstellung von Leiterplatten mit Hilfe des Cu-Per Ätzsatzes

1. Leiterzüge und Bohrlöcher der Leiterplatte im Maßstab 1:1 auf Millimeterpapier aufzeichnen.
2. Kupferkaschierte Pertinaxplatte zuschneiden und mit Hilfe von Seifenlösung o.ä. gründlich säubern.
3. Die auf Millimeterpapier aufgezeichneten Leiterzüge und Bohrlöcher mit Hilfe von Kohlepapier auf das kupferkaschierte Halbzeug durchpausen.
4. Die Leiterzüge auf dem kupferkaschiertem Halbzeug werden mit Abdecklack ausgezeichnet. Dazu kann ein feiner Tuschpinsel oder eine entsprechende Zeichenfeder verwendet werden. Lack gut antrocknen lassen! Die Flächen, die nicht mit Abdecklack abgedeckt sind, werden im folgenden Arbeitsgang weggeätzt. Alles was abgedeckt ist, bleibt nach dem Ätzen als Kupferbahn stehen.
5. Ansatz der Ätzlösung: Etwa einen gehäuften Eßlöffel des Ätzmittels in 150 $cm^3$ warmem Wasser auflösen. Zum Ansetzen und Aufbewahren der Ätzlösung dürfen keine metallenen Gefäße verwendet werden. Gut geeignet sind Entwicklerschalen aus PVC oder andere Gefäße aus Porzellan oder Glas. Die Ätzlösung kann zur Herstellung mehrerer Leiterplatten verwendet werden. Sie kann jedoch nicht unbegrenzt lange aufbewahrt werden, da die Wirksamkeit der Ätzlösung langsam abnimmt durch Zersetzung des gelösten Ätzmittels. Im trockenen Zustand ist das Ätzmittel unbegrenzt haltbar.
6. Das vorbereitete kupferkaschierte Halbzeug 1-3 Stunden in die Ätzlösung einlegen. Beachte! Je konzentrierter und je heißer die Ätzlösung ist, um so kürzer sind die Ätzzeiten. Die Temperatur der Ätzlösung soll jedoch 60°C nicht überschreiten, da sich das Ätzmittel sonst zu schnell zersetzt. Der Ätzvorgang wird durch gelegentliches Umrühren beschleunigt
7. Kupferkaschiertes Halbzeug aus der Ätzlösung herausnehmen, mit Wasser gut abwaschen und vorsichtig trocknen.
8. Wattebausch mit Lösungsmittel tränken und Abdecklack abwischen.

16d



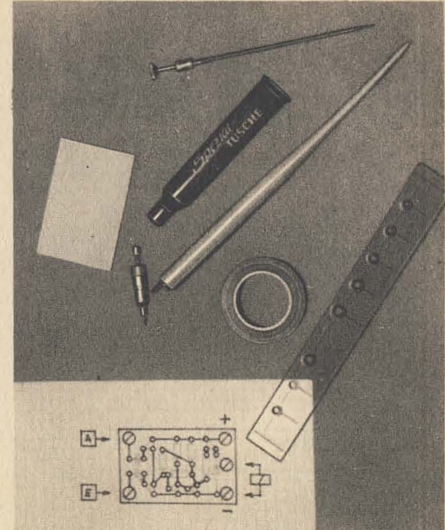
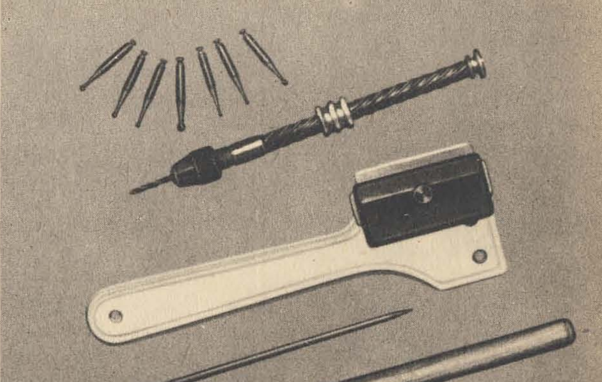



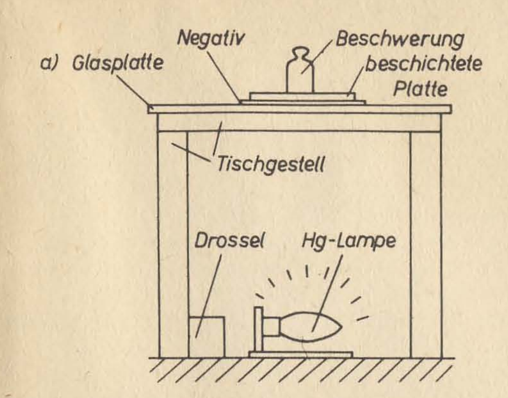


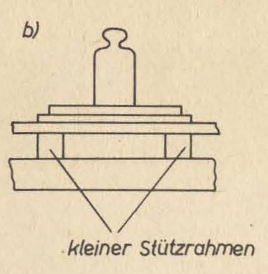

Bild 15
Gemäß Bild 14
entstandene Streifenleiter

Bild 16
a – Hilfsmittel für das Zeichnen einer ätzfesten Deckschicht;
b – handelsüblicher Zeichen- und Ätzsatz sowie Löt-Isolierlack;
c – Werkzeuge für das mechanische Abtragen;
d – Gebrauchsanweisung zum Zeichen- und Ätzsatz



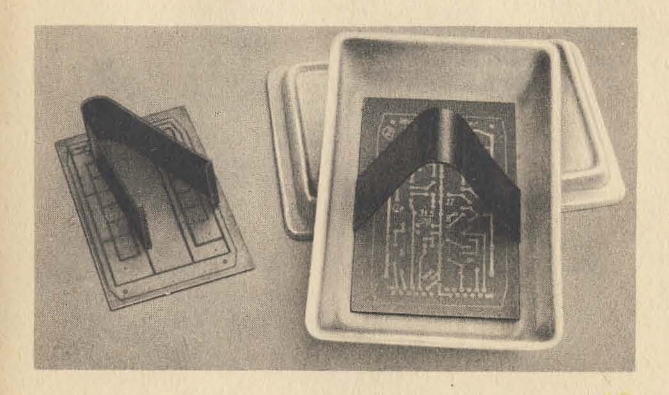
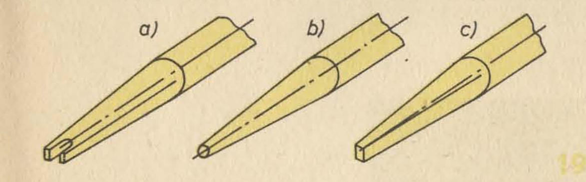



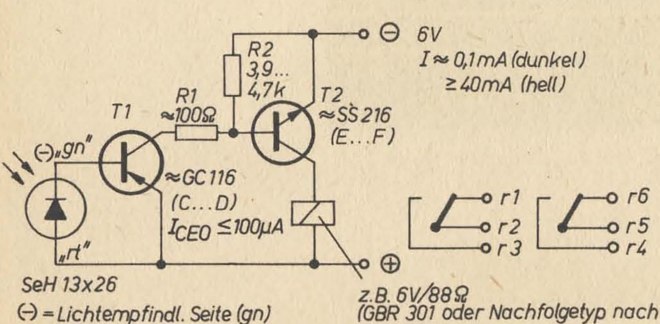

Bild 17
Belichtungstisch (a) und Einzelheit (b) für das Beschweren gewölbter Halbzeugplatten im Fall einer dünnen Glasplatte

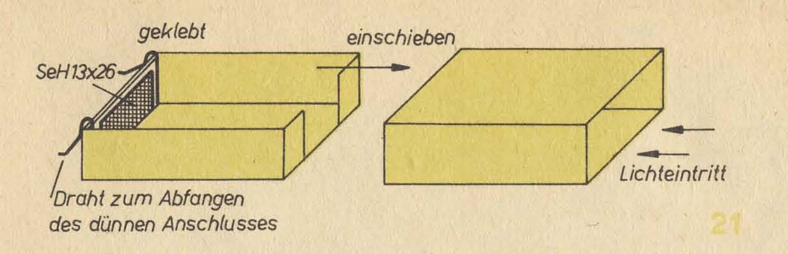
Bild 18
Haltebügel für das Ätzen von Leiterplatten und Ätzschale aus PVC

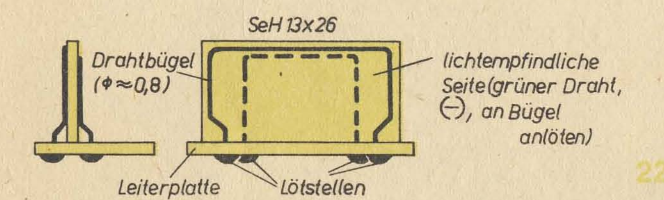
Bild 19
Lötkolbenspitzen für Leiterplatten; Gabel, Kegel, Pyramidenstumpf

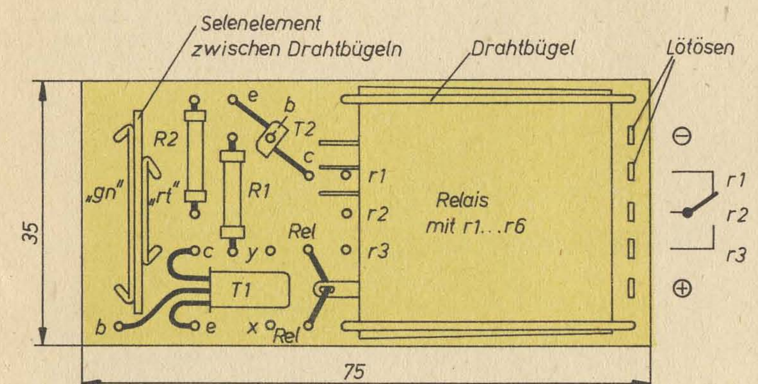
Bild 20
Schaltung mit dem handelsüblichen Selen-Fotoelement SeH 13 × 26, ausgelegt als Lichtschranke mit wahlweiser Selbsthaltung. Für diese Schaltung gibt Bild 23 eine Leiterplatte in Ritztechnik. Bei Selbsthaltebetrieb r4, r5 über Widerstand von etwa 10 kΩ mit Emitter und Kollektor von T1 (x, y in Bild 23) verbinden

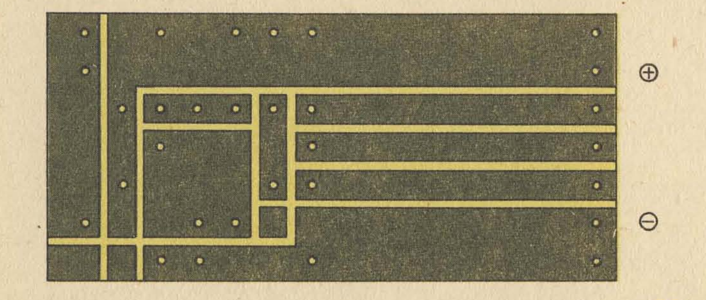




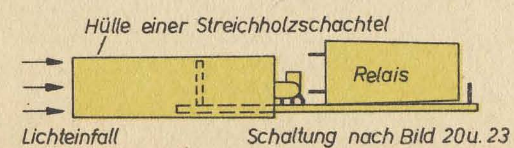




**Bild 21**
Einfachste Möglichkeit zum Abschirmen von Streulicht durch Einbau des SeH 13 × 26 in eine Streichholzschachtel

**Bild 22**
Befestigung des Fotoelements auf der Leiterplatte

**Bild 23**
Bestückungsplan und Leitungsmuster, der Ritztechnik angepaßt, für die Schaltung nach Bild 20. Die freien Inseln ergeben sich beim Durchziehen der Ziehfeder gemäß Bild 14

**Bild 24**
Auf die Schaltung nach Bild 23 aufgeschobener Streulichtschutz

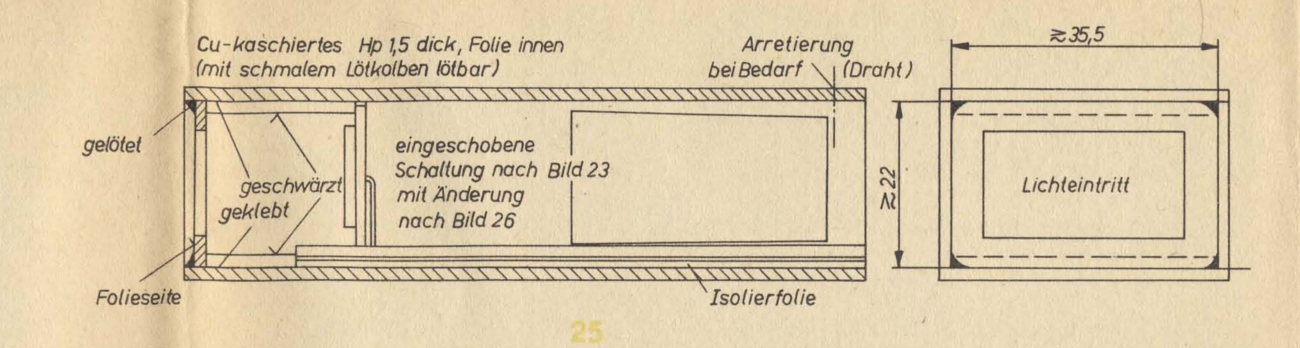
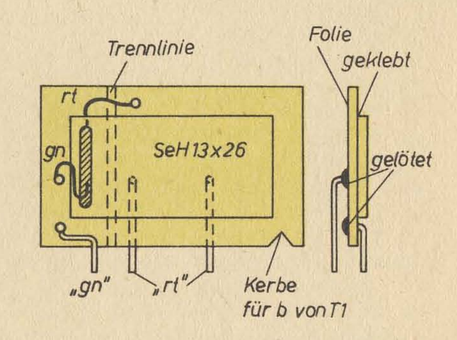
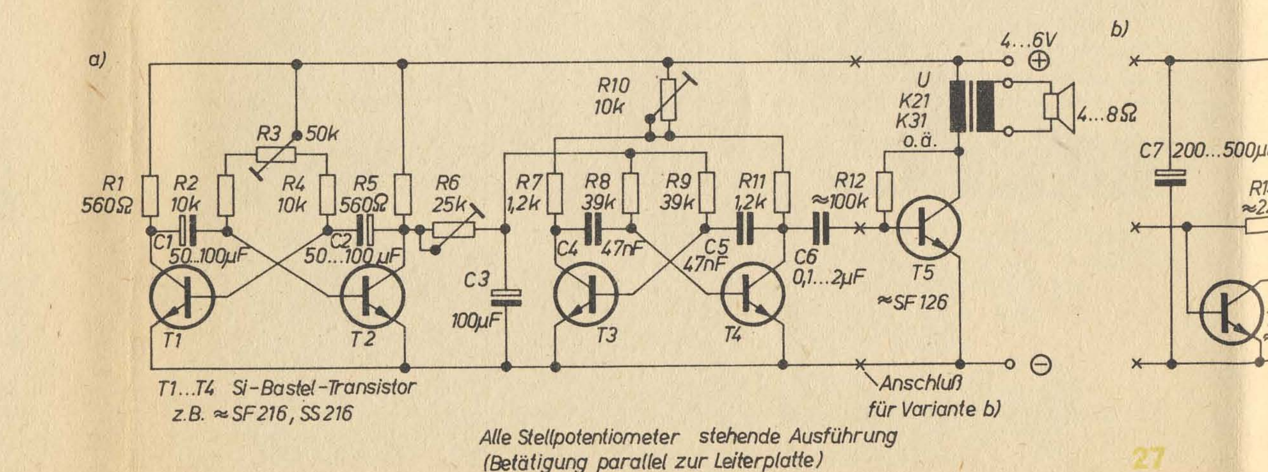


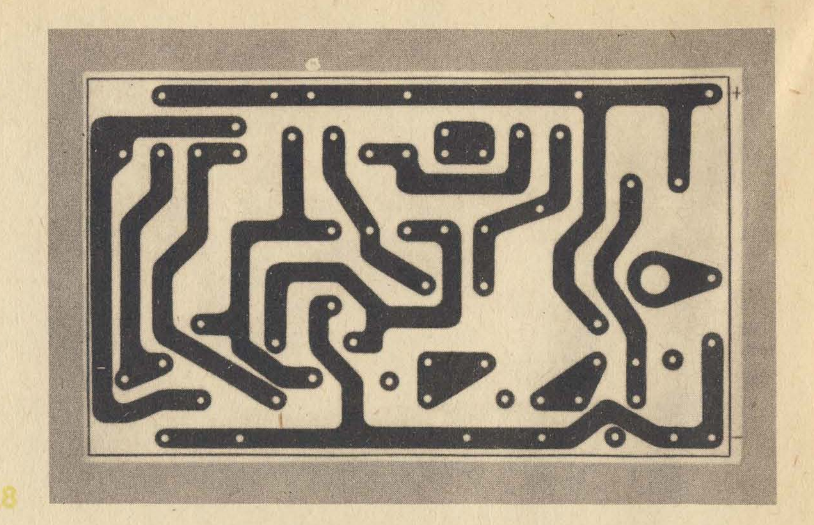

**Bild 25**
In Gehäuse aus kupferkaschiertem Hartpapier eingeschobene Schaltung nach Bild 23

**Bild 26**
Für die Schaltung nach Bild 25 zweckmäßige Befestigung des Selen-Fotoelements auf einer kupferkaschierten Hartpapierplatte mit einer geritzten Trennlinie

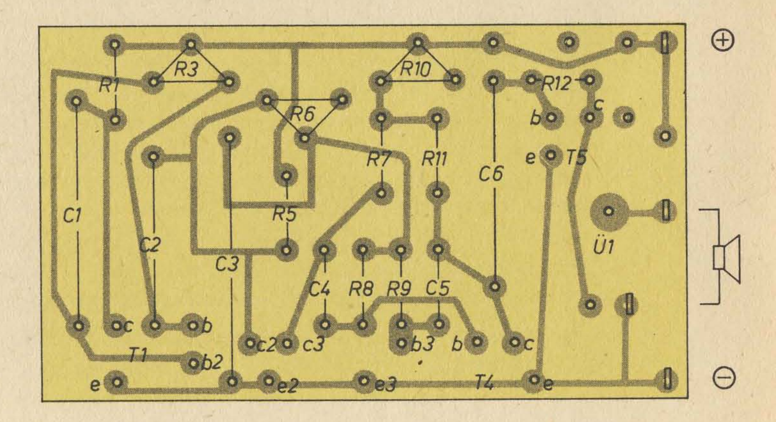
**Bild 27**
Varianten der im „FUNKAMATEUR" 8/67 beschriebenen elektronischen Sirene; a – mit Ausgangstransformator; b – mit eisenloser Endstufe; bis auf diese mit Siliziumtransistoren modernisiert. Achtung! R10 wurde in Bild 30 entgegen der Ursprungsschaltung wie R3 eingesetzt!





28




29

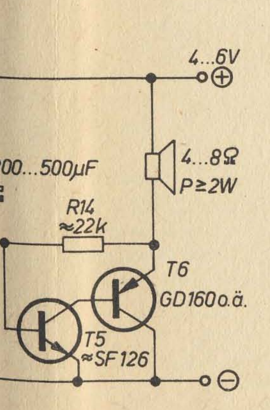
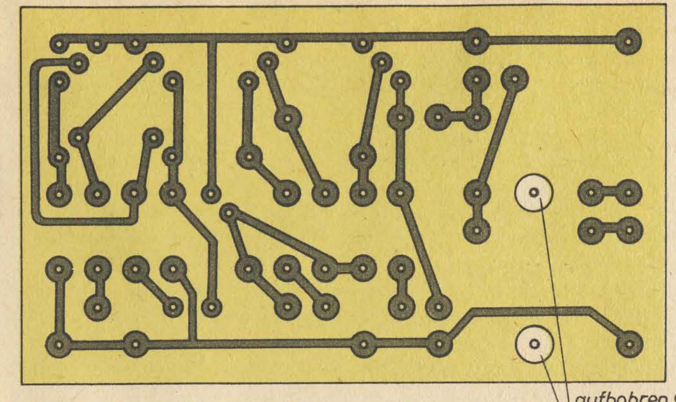



**Bild 28**
Das Leitungsmuster der Ursprungsschaltung, aus der das Muster nach Bild 27 abgeleitet wurde

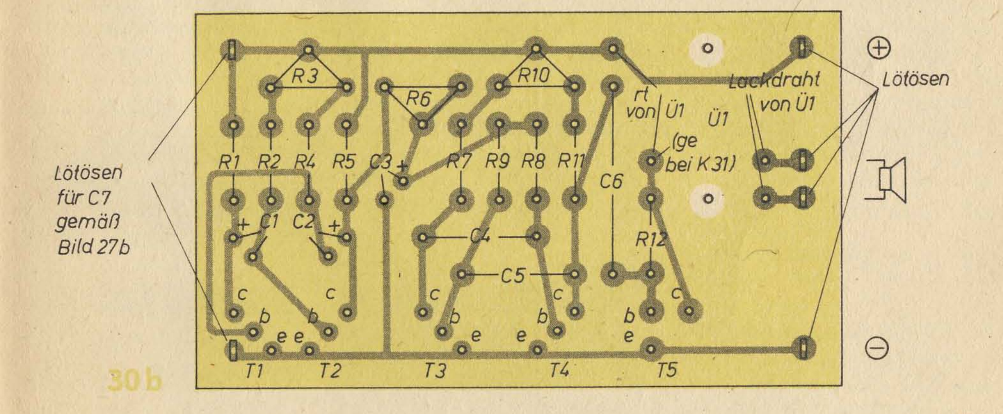
**Bild 29**
Leitungsmusterskelett, aus dem Leitungsmuster nach Bild 28 entwickelt, erleichtert das Zeichnen mit Röhrchenfeder (Bild dient nur als Beispiel!)

**Bild 30**
a – Völlig umgezeichnetes, übersichtliches und „röhrchenfedergerechtes" Leitungsmuster für die Schaltung nach Bild 27 a;
b – Bestückungsplan (Bauelementeseite; Leiterzüge schimmern durch, wenn man die Platte gegen eine Lampe hält)

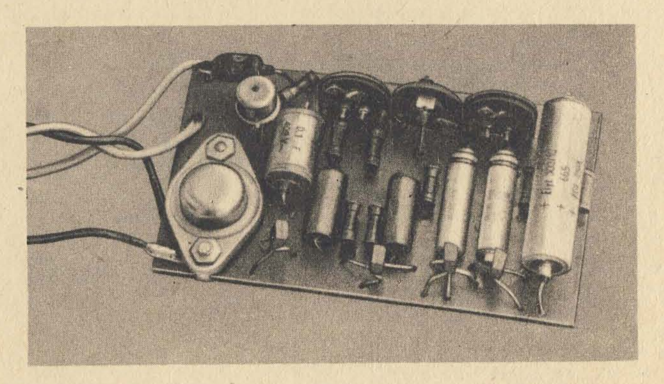
**Bild 31**
Aufbaumuster der elektronischen Sirene (Variante ähnlich Bild 27b)




30 a




30 b



31